MANUALI HOEPLI

II

FISICA

BALFOUR STEWART — CANTONI

MANUALI HOEPLI.

FISICA

DI

BALFOUR STEWART,
Prof. nell'Istituto superiore di Manchester.

TRADUZIONE

DI

GIOVANNI CANTONI,
Prof. di Fisica nell'Università di Pavia.

CON 48 INCISIONI.

ULRICO HOEPLI,
EDITORE-LIBRAIO,
MILANO,
NAPOLI | PISA.
1878.

INDICE.

PREFAZIONE DELL'ORIGINALE INGLESE.

Gli autori dei due libriccini intitolati: *Prime nozioni di Chimica e di Fisica*, pubblicandoli, si proposero di esporre i principj di codeste due scienze in tal forma che riescissero appropriati all'intelligenza di que' giovanetti, i quali per la prima volta si fanno a studiare i fenomeni generali della natura.

Poichè gli autori stessi portano opinione che per queste tenere menti, più che lo schierar loro innanzi una serie ordinata di cognizioni scientifiche, giovi ben meglio l'educarle ed addestrarle ad interrogare direttamente la natura stessa. Con tale proposito gli autori vanno svolgendo una serie di facili esperienze, le quali aprono la via ad intendere le prime verità di dette scienze. Codeste esperienze ponno eseguirsi dagli insegnanti, con ordine regolare, innanzi una scolaresca. Di tal modo sarà suscitata e rafforzata negli alunni la

facoltà dell'osservazione: laddove poi l'ordine e l'esattezza delle cognizioni potrà provocarsi e svolgersi con una sagace serie di interrogazioni.

Lo studio della *Introduzione generale** converrà, nel più dei casi, che preceda quello degli anzidetti due argomenti: e probabilmente si troverà opportuno di dare, dopo quella, le *Prime nozioni di Chimica*, riservando le *Prime nozioni di Fisica*, pel terzo stadio.

* Così è chiamato il primo volumetto di questa piccola enciclopedia inglese.

AI LETTORI IL TRADUTTORE.

L'esposizione elementarissima, o, come suol dirsi, popolare delle prime nozioni di una scienza, è opera assai più ardua che comunemente non lo si pensi. Bisogna essere molto addentro nei fatti e nelle dottrine d'una data scienza, per saperne esporre popolarmente gli elementi.

Così vediamo che, all'infuori di alcune lodevoli eccezioni, i compendj elementari di scienze fisiche, che han corso nelle nostre scuole tecniche e normali, si risolvono in aride sequele di definizioni e di proposizioni, che male s'accomodano alle menti immaginose ed inesperte dei giovanetti.

Ora il Balfour Stevart, valentissimo fisico inglese, ci offre un bel esempio di un libriccino scientifico popolare. Con forma semplice e chiara, e pur con linguaggio abbastanza esatto, egli vien esponendo i prin-

cipj della fisica, giovandosi ad ogni passo di facili esperienze per ischiarire le condizioni e le leggi dei principali gruppi di fenomeni fisici. Eppure è mirabile come, in così piccol volume, egli condensi non poca parte della materia de' comuni corsi elementari di fisica, e nondimeno giunga a far intendere alcuni de' più alti principj della fisica moderna.

Da parte mia mi permisi solo alcune varianti ed alcune addizioni, nei limiti però d'una libera versione, allo scopo di rendere meglio appropriate all'intelligenza dei giovanetti nostri le cose esposte dal fisico inglese.

G. CANTONI.

PRIME NOZIONI DI FISICA.

INTRODUZIONE.

1. Definizione di fisica. — Nei *Principj di Chimica* avete imparato da quali specie di cose siamo noi circondati. E vedeste come operi il chimico; com' egli pesi le cose e determini le loro qualità, e come trovi che talune cose son composte, risolvendo ciascuna di esse in due o tre cose nuove e tra lor diverse. Laddove altre cose si mostrano semplici od elementari, in quanto non si può trarre da esse cose differenti.

Avrete pure apprese alcune nozioni su le varie *specie* di cose che costituiscono il mondo. Ma non avrete molto imparato circa le *affezioni*, o circa i *modi* di queste cose. Voi stessi siete soggetti a cangiar di modo. Talvolta vi mostrate col volto sorridente, e tal altra, forse, col volto corrucciato o lagrimoso; talvolta vi sentite pieni di vigore e d'attività, e tal altra volta vi sentite fiacchi e svogliati.

Ora, per poco che vi pensiate, vedrete che le cose che ci circondano vanno soggette a modi diversi, molto

simili ai nostri. Un giorno la natura ci offre un aspetto splendido, giocondo e pieno di sorriso. L'indomani il suo aspetto è oscuro e triste; cade la pioggia, romoreggia il tuono, ed il mare è irto di onde e sconvolto da burrasca.

Eccovi un altro esempio. Abbiasi una palla di ferro, che giace al suolo; essa al tatto vi appare fredda e pesante. Ma, se la ponete nel fuoco, e di poi ne la togliete, avrete bensì la stessa sostanza, ma lo stato suo sarà d'assai mutato: se tentaste di toccarla, siete sicuri di bruciarvi le dita. Oppure, se invece di porla nel fuoco, poneste questa palla entro un cannone, e vi produceste la scarica, la palla stessa camminerebbe con tanta velocità e violenza, da ridurre in pezzi ogni cosa ch'essa toccasse.

Vedete dunque che una palla da cannone fredda è cosa ben diversa da una palla da cannone calda, e che una palla ferma è cosa assai differente d'una palla in moto.

Ora, se, nel vedervi piangenti e tristi, ricercheremo qual sia la causa di quel vostro stato, potremo sempre trovarla; ed anco, vedendovi svogliati, sonnecchiosi e spossati, potremo, cercandone le ragioni, rinvenirle.

Similmente, quando osserviamo dati cangiamenti nei modi o nelle qualità della materia inerte, ricerchiamo qual sia la cagione dei cambiamenti stessi, e sempre troviamo che essi ebbero una causa.

Questa indagine appunto vogliam fare nelle seguenti pagine, e vedrete quali risposte ne caveremo.

E già sapete che il modo d'interrogare la natura chiamasi *esperimento*.

2. Definizione di moto. — Innanzi tutto bisogna

farci una chiara idea del moto. Muoversi significa mutar di luogo. Avrete sentito dire che la terra, il pianeta sul quale viviamo, si muove attorno al sole. Nondimeno possiamo anche non aver mente a questo fatto: poichè, sebbene la terra sia in moto, essa ci trasporta tutti insieme con sè, e perciò le cose rimangono situate le une rispetto all'altre sempre ad un modo, come se la terra fosse ferma.

Così, stando seduto in una camera, posso ben dire d'essere fermo; ma se passeggio su e giù per la stanza, sono veramente in moto. Però, a ben comprendere i miei movimenti, voi potete considerare qualche cosa più del fatto dell'essere in moto; potete pôr mente alla *direzione* od alla *linea* secondo la quale mi muovo, e potete determinare la *velocità* del mio movimento.

Potrete chiaramente intendere il significato del vocabolo « velocità » col supporre che, uscendo di casa, io passeggi lungo una via diritta per due o tre ore, e sempre col medesimo passo. Poniamo che in un'ora mi trovi a sei chilometri di distanza dal punto di partenza, e che in due ora giunga lungi da esso dodici chilometri: allora dirò che cammino colla ragione o colla velocità (questi vocaboli significando qui la stessa cosa) di sei chilometri all'ora.

Ma quando la ragione non è costante? Supponiamo un convoglio che, giungendo vicino ad una stazione, cominci a rallentare la sua corsa. Il treno aveva dianzi il suo moto normale, che porremo di sessanta chilometri all'ora, ma di poi la sua velocità va più e più scemando, finchè, arrivando alla stazione, si riduce quieto e stazionario. Come potremo qui trovare la ragione del moto, se essa varia continuamente? e che intendiamo col dire che il convoglio, prima che

cominciasse a rallentare la sua corsa, si moveva nella ragione di sessanta chilometri all'ora? Vogliam solo significare che se, innanzi rallentare, il treno fosse stato sempre in moto per un'ora intera colla stessa ragione, avrebbe percorsi sessanta chilometri. Così, se invece di venire a fermarsi nella stazione, quel treno fosse stato un treno speciale direttissimo, o avesse proceduto innanzi, esso troverebbesi ad una distanza di sessanta chilometri un'ora dopo che lo si è visto passare.

Sonvi diverse maniere di esprimere la velocità. Talora parliamo di tanti chilometri all'ora, come facemmo poc'anzi; tal'altra volta ci vien meglio di parlare di tanti metri al secondo. Così, abbandonando a sè una pietra, potrò dire che essa, cadendo liberamente, avrà percorsi circa dieci metri (9^m, 8), trascorso che sia un secondo da che la lasciai cadere. Già sapete che sessanta secondi formano un minuto e che sessanta minuti fanno un'ora.

In questo libriccino, parlando di velocità dei corpi, ci serviremo dei metri per secondo, più spesso che dei chilometri all'ora, e diremo che un corpo si muove colla velocità di dieci, di venti, di trenta metri al secondo, secondo i casi.

3. Definizione di forza. — Ora, cos'è che induce al moto un corpo dianzi fermo? Oppure, cos'è che obbliga a fermarsi un corpo dianzi in moto? Chiamiam *forza* ciò che produce questi atti. Così diciamo che una forza spinge un corpo al moto, e che un'altra forza (ma con opposta direzione) può di poi ridurlo in quiete. E se richiedesi una valida forza per imprimer moto ad un dato corpo, si richiederà una forza, valida del pari, per ridurlo fermo. Voi ben potrete mettere in moto una pallottola colla spinta della

vostra mano destra, e potrete anche fermarla con un'altra spinta: ma una grave massa, come un convoglio ferroviario, richiede una forza ben poderosa, tanto per esser mossa, quanto per venir fermata. Ciò che è facilmente lanciato è pur facilmente fermato, e ciò che si lancia difficilmente, difficilmente lo si può fermare.

Vedete dunque che la forza agisce non solo per imprimer moto ad un corpo, ma altresì per addurre in quiete un corpo in moto. Laonde, *chiamasi forza ciò che può cambiare lo stato di un corpo, sia poi questo stato la quiete od il moto.*

Esperienza I.ª — A provar ciò, abbiasi una tazza sul cui fondo stiano alcune leggiere palline, quali sarebbero dei piselli secchi, e, tenendola colla mano destra, la si alzi rapidamente, finchè il braccio stesso venga fermato da un'asta di legno, fissata poco al di sopra. Lo stesso effetto potrebbesi avere, col tener teso rigidamente l'altro braccio al disopra del primo. Ciò facendo, mentre la tazza si fermerà in un colla mano

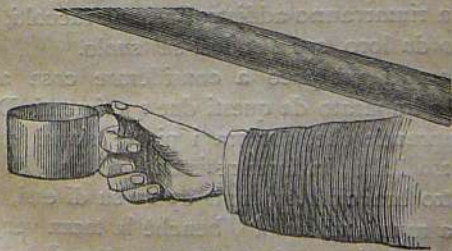



Fig. 1.

che la regge, i piselli continueranno per alcun tempo a muoversi rapidamente in alto.

Dapprima colla forza del braccio s'è messa in moto la tazza; questa ha forzato i piselli a salire insieme, non

potendo essi rimanere addietro. Quando poi il braccio portante la tazza si sarà alzato rapidamente, e si fermerà, urtando coll'asta di legno (o coll'altro braccio), si può dire che quell'asta forzò la mano a fermarsi, e questa, alla sua volta, forzò a fermarsi la tazza tenuta saldamente. Laddove queste forze resistenti non influiscon punto sui piselli, che stanno sciolti sul fondo della tazza: cosicchè essi possono continuare a salire, pur dopo che questa venne fermata, finchè si determinerà in essi un moto di discesa, per cui alcuni ricadranno nel vaso, ed altri si spargeranno sul suolo.

Esperienza 2.ª — Ora poniamo altri piselli entro la stessa tazza, a rimpiazzare quelli che si versaron fuori: ma, invece di levarla rapidamente in alto, abbassiamola più rapidamente che ci è possibile. Qui la forza del braccio, può bensì imprimere un rapido moto alla tazza, ma non agisce sui piselli, che posano sciolti sul fondo della medesima, e il risultato dell'esperienza sarà che i piselli non seguiranno il rapido moto della tazza, ma rimarranno addietro insieme raccolti, finchè cadranno da loro, spargendosi sul suolo.

Fermiamoci per poco a considerare cosa abbiam veramente imparato da questi due sperimenti. Dal primo si apprende che, qualora i piselli siansi messi in moto verso l'alto, la forza resistente dell'asta di legno, o dell'altro braccio teso, non opera su di essi, e continuano a muoversi in alto, benchè la tazza venga fermata. Richiedesi una forza per arrestare il loro moto d'elevazione; ma questa forza non possiam trarla dalla resistenza della verga di legno, poichè salgono fin tanto che la forza della terra li obbliga a scendere verso il suolo. Vedete dunque che *abbisogna una forza per fermare un corpo in moto.*

Nella seconda esperienza poi, sebbene comunichiamo un moto all'ingiù alla tazza, la forza del nostro braccio non influisce sui piselli, che stanno sciolti entro di essa, e quindi conservano il loro stato di quiete, rimanendo addietro, sinchè la forza della terra li fa scendere verso il suolo. E qui vedete che *abbisogna una forza per lanciare un corpo in quiete.*

Una forza adunque può fare due cose: può fermare un corpo in moto, e può metter moto in un corpo fermo.

Spesse volte troviamo che una forza, benchè insistente ed attiva, può sembrare inoperosa. Ma come può accader ciò? Rispondiamo che ciò deriva dall'intervento di un'altra forza eguale ed opposta. Così, se tengo un corpo grave nella mano, ed apro le dita, la forza della terra che agisce sul peso, lo trarrà tosto al suolo; ma finchè conservo serrate le dita impedisco a quella forza di agire, o piuttosto di manifestarsi operosa.

Ora immagino lo stesso corpo posato sul tavolo. Se questo non fossevi, esso cadrebbe al suolo; ma qui la forza della terra, la quale produce una tendenza a cadere, è impedita dall'operare dalla resistenza del tavolo. Il corpo preme contro il tavolo, ed il tavolo contrasta a questa pressione. Cosicchè avete qui due forze resistenti o contrastantisi l'una l'altra: l'una è il peso e l'altra la forza resistente del tavolo.

Da tutto ciò impariamo che la forza è ciò che cambia lo stato di quiete o di moto d'un corpo: però ben sovente la forza incontra la resistenza o l'opposizione di una forza eguale e contraria, cosicchè non produce effetto sensibile. Tuttavia essa agirà continuamente, contrastando l'effetto dell'altra forza opposta

LE PRINCIPALI FORZE DELLA NATURA.

4. Definizione di gravità. — Avendovi così spiegato il senso della parola forza, possiam guardarci attorno per vedere quali siano le principali forze che agiscono su ciò che ci circonda, e per vedere altresì qual parte faccia ciascuna di esse e quali siano i suoi modi.

La forza che meglio emerge su l'altre è l'attrazione della terra. Se noi lasciam sfuggire dalla mano una cosa pesante, sappiamo dove convien guardare per vederla. Sappiamo che non sale verso il cielo, e neppur si muove obliquamente in qualsiasi direzione: sappiamo che cade diretta al suolo od alla terra. Diciamo ch'essa cade giù: ma in fatto le voci *su* e *giù* dipendono dalla forza della terra: cosicchè se la terra non ispiegasse una forza, non potremmo in niun modo usare tali parole. Il vocabolo « su » indica un moto difficile contro la forza della terra, ed il vocabolo « giù » un moto facile, favorito cioè dalla forza medesima. Così è malagevole salire su un monte, ma è ben facile scender giù da esso.

Or quando diciamo che la terra attrae le cose, dobbiam forse pensare che tutte o pressochè tutte quelle che vediamo siano in moto verso la terra? Voi ed io non caschiamo, nè possiam augurarci d'essere in una posizione più sicura. E se ci si domandasse perchè non cadiamo, risponderemmo: perchè posiamo sul suolo. Ma se il suolo non ci fosse, cadremmo entro la terra. Anzi il suolo dev'essere abbastanza saldo da reggere il nostro peso, altrimenti cederebbe e noi cascherem-

mo. Talvolta un suolo di legno od un palco, caricato di troppa gente, mancò di sotto, e questa cadde a terra, talchè molte persone perirono per le ferite lor toccate.

Vedete dunque che la terra attrae ogni cosa: eppure il più delle cose che ci circondano non si muovono verso terra, perchè sono sorrette da qualche altra cosa, capace di resistere al loro peso. In fatto, questa proprietà delle cose, che diciam *peso*, è cagionata dall'attrazione della terra.

Questa forza che la terra esercita su le cose è detta *gravità*.

5. Definizione di coesione. — Ma sonvi altre forze che si esercitano tra le cose terrestri. Se prendiamo un pezzo di cordicella od un filo, e ci adoperiamo per romperlo in due parti, esso eserciterà una forza che si oppone a ciò, e sol quando lo sforzo da noi esercitato sarà maggiore della forza colla quale esso resiste, ci sarà dato di romperlo. In vero le diverse fibre del cordoncino, o del filo, e le loro particelle sono tenute insieme dalla forza che resiste ad ogni azione tendente a separarle tra loro. E così accade per le varie parti e particelle di tutti i corpi solidi, quali sono legno, pietre, metalli, e via dicendo. Spesse volte è assai difficile il ridurre un corpo in frantumi, in polvere, od in qualsiasi modo ridurlo sotto altra forma o sotto altro volume. Ora questa forza che collega insieme le varie particelle di un corpo, è chiamata *coesione*.

Comprenderete ora qual differenza corra tra gravità e coesione. La gravità è quella forza, che la terra esercita per tirare i corpi verso di sè, qualunque sia la loro distanza: cosicchè, per esempio, la luna, la quale dista dalla terra circa 380 mila chilometri, è pur tuttavia

attratta da essa. Invece la coesione è quella forza che esercitano le particelle contigue d' un corpo per tenersi insieme tra loro: ma questa forza agisçe sol quando le particelle sono veramente vicine le une alle altre. Cosicchè se un solido è spezzato o ridotto in polvere, le parti sue non potranno più riappiccarsi tra loro.

6. Definizione di attrazione chimica. — Affine alle predette due forze è quella che chiamasi *attrazione chimica* od *affinità*. Nei *Principii di Chimica* (art. 4) avete appreso che le due cose dette carbone e gas ossigeno possono unirsi chimicamente insieme, e che il gas acido carbonico è il risultato della loro unione. Il carbone ed il gas ossigeno son tratti insieme da una forza che essi esercitano l' uno su l' altro, come una pietra è tratta verso terra. In virtù di questa forza le lor particelle accorrono le une verso le altre e si congiungono tra loro, ed il prodotto offre proprietà interamente diverse da quelle di entrambi quei corpi. Pertanto la forza che diciamo attrazione chimica ha questa particolarità di esercitarsi solo tra corpi differenti; poichè nella chimica sono soltanto i corpi di specie diversa, che si precipitano l' un su l' altro, e che s' uniscono dopo quest' atto.

7. Offici di queste forze. — Avendovi così detto alcun che su le principali forze della natura, procurerò di mostrare qual parte esercitino e perchè si manifestino ovunque, e spero che presto vedrete che senza di esse difficilmente potremmo procedere innanzi.

Supponiamo dapprima che non vi fosse gravità, cioè che la terra non traesse a sè i corpi. Talvolta, salendo su un erto monte, siamo tratti a pensare che sarebbe piacevole cosa se potessimo camminare all' insù così facilmente come camminiamo all' ingiù. Ma potremmo

noi desiderare che non fossevi gravità? Sarebbe una terribile sventura se uno di quegli spiriti, che raccontasi esserci stati una volta, acconsentisse a così fatto nostro desiderio. Non essendovi gravità, non ci sarebbe faticoso il correre, e potremmo facilmente salire su un monte: ma d'altra parte facendo un salto in aria dovremmo restarvi, e ci sarebbe anche possibile abbandonare del tutto questo mondo. I mobili delle nostre case potrebbero trovarsi taluni sul suolo, altri alla soffitta, altri vaganti qua e là, e noi stessi potremmo girare sui tetti così bene come sul suolo. Però la luna, non essendo legata alla terra, potrebbe andarsene altrove, ed allo stesso modo la terra, non essendo collegata col sole, potrebbe esser lasciata addietro, ed andar lungi errante fra le stelle.

Ciò basti per la gravità. Vediamo ora che avverrebbe ove non fossevi coesione. Se questa forza mancasse, le particelle dei corpi solidi non aderirebbero le une alle altre, ed i solidi si sfascerebbero in pezzi, anzi in polvere. Il legno dei nostri tavoli e delle nostre sedie cadrebbe pure in polvere, e più non avremmo mobilio: lo stesso farebbero i mattoni de' nostri fabbricati, talchè non potremmo più aver case. Lo stesso accadrebbe di noi. Insomma tutte le cose si risolverebbero in un grande ammasso di polvere.

Finalmente pensiamo che avverrebbe se non fossevi tal cosa qual'è l'attrazione chimica. In primo luogo il fuoco cesserebbe d'ardere, perchè il carbonio della legna non cercherebbe punto d'unirsi all'ossigeno dell'aria. Inoltre le sostanze semplici od elementari non s'unirebbero più tra loro per formare i corpi composti, e non avremmo più che una sessantina di sostanze, per la massima parte metalli, ed alcuni pochi gas. In

un mondo siffatto non sarebbevi più alcuna varietà, ed anzi non vi sarebbe possibile la vita. Poichè tutte le parti del nostro corpo sono sostanze composte, e se l'affinità chimica non operasse, una parte del corpo nostro se n'andrebbe per l'aria a mescersi con essa, ed altra parte, consistente in alquanto carbonio, poco fosforo e due o tre metalli, cadrebbero sfasciati al suolo, e quindi noi stessi avremmo fine.

COME AGISCA LA GRAVITÀ.

8. Centro di gravità. *Esperienza* 3.[a] — Procuriamo ora di determinare di qual sorta sia la forza di gravità. A tal uopo prendiamo questa irregolare lastra di ferro,

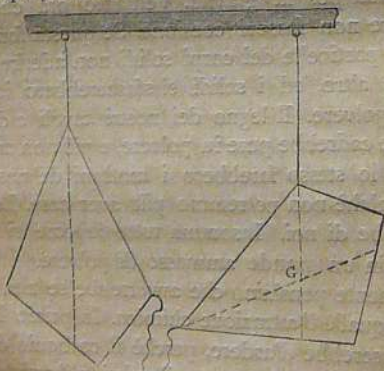



Fig. 2.

e sospendiamola, con un filo, per un punto del suo contorno. Vedete ch'essa pende da questo con una par-

ticolar direzione, e che una linea dianzi tracciata su la lastra con una materia bianca è coincidente colla direzione del filo. Sospendiamo poi liberamente la lastra per un altro punto, e tracciamo una nuova linea bianca sul prolungamento del filo: queste due linee si taglieranno tra loro in un punto, segnato *G*. Infine sospendiamo la lastra per un terzo punto del suo contorno, e segniamo come dianzi una linea bianca secondo il prolungamento del filo.

Ora facilmente vedrete che queste tre linee si tagliano tutte nel loro stesso punto *G*. Epperò, sospendendo la lastra per un qualsiasi punto liberatamente scelto, e segnandovi ancora una linea diretta secondo il filo, tutte codeste linee si segheranno nel medesimo punto *G*: cosicchè questo si troverà sempre direttamente al disotto del punto di sospensione. Se spingete la lastra da una banda, ella ritornerà ancora alla posizione precedente.

Ora, che è questo particolare punto *G*? Per trovar ciò, attacchiamo una funicella a tal punto *G*, e sosteniamo con essa la lastra; vedete che questa si terrà in bilico intorno a *G* in tutte le direzioni, appunto come se tutto il peso della lastra fosse condensato nel punto *G*. Questo perciò è denominato *centro di gravità* della lastra. E se sostengo la lastra liberamente con una funicella, essa si ridurrà in tal posizione che il suo centro di gravità *G* riesca il più basso possibile. Se anche sorreggo la lastra con una sottil caviglia, sì che sia libera di ruotare intorno a questa, come nella successiva figura 3ª, la lastra si ridurrà sempre col punto *G* più basso possibile, non potendo star sospesa senza che il punto *G* si riduca sotto alla caviglia.

9. La bilancia. — Ogni corpo ha un punto *G* di

tal natura, chiamato centro di gravità di esso. La bilancia che vedete rappresentata all'art. 24, al pari di

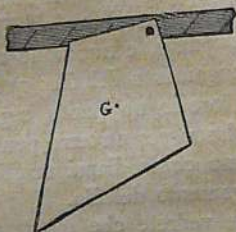



Fig. 3.

ogni altra cosa, ha il suo punto *G*, il suo centro di gravità. Perciò essa pure, come la lastra predetta, tenderà a situare questo punto più basso che potrà.

Ora, quando sieno eguali i pesi sui due piatti, questo punto *G* tende a porsi direttamente al disotto del punto intorno al quale la bilancia oscilla; e se allora la si spinge per farla traboccare da una banda, appena sarà libera, tornerà alla prima posizione. Infatti, essendo eguali i pesi su ciascun piatto, essa andrà sempre a prender tal posizione che l'estremo dello stilo risponda al mezzo dell'arco graduato, che fa da giudice.

Cosicchè, posto un corpo da pesare su uno dei piatti, e posti sull'altro tali pesi che lo stilo si fissi nel mezzo, sono ben sicuro che questi pesi eguagliano il peso di quel corpo. Che se i pesi non sono bastanti, il flagello della bilancia s'inclinerà dalla banda ove sta il corpo: laddove, se i pesi sone soverchi, il flagello s'inclinerà dalla banda opposta.

Esperienza 4.ª — Ad esempio, pongo questo pezzo di metallo sovra un guscio, ed un peso di 10 grammi

su l'altro: e trovo che il guscio portante il metallo, si tien basso, mostrando esser questo più grave del detto peso. Ora, pongo invece un peso di 12 grammi su lo stesso piatto, e veggo che tiensi basso quest'altro, mostrando che tal nuovo peso è di troppo. Ne concludo che il peso del metallo sta compreso tra 10 e 12 grammi. Applicando poi il peso di 11 grammi, veggo che lo stilo tiensi nel mezzo dell'arco, e che perciò il flagello sta orizzontale: il peso del corpo sarà dunque giustamente 11 grammi.

I TRE STATI DELLA MATERIA.

10. Avete veduto che non possiam nulla conoscere, senza ricorrere alle varie forze della natura, e che, se un dato pezzo di materia vien tirato od attratto da un altro, ciò non dipende da tali cose in particolare, ma è un fatto generale di tutte le cose del mondo. Così vedeste poc'anzi che, se non vi fosse coesione, ogni cosa si risolverebbe in polvere. Ma ora posso aggiungere che, ove tutte le cose possedessero una coesione grandissima, non vi sarebbero più nè liquidi, nè gas, e quindi nè acqua, nè aria: talchè noi stessi non potremmo in niun modo esistere.

Le particelle di una verga di ferro o di acciajo possiedono una ben grande coesione, in quanto è assai difficile forzarle a mutar di posto. L'acqua ed il mercurio sembrano aver invece poca coesione, in quanto possiamo, col più leggier contatto, far scorrere le loro parti in qualsiasi direzione. Eppure questi due liquidi hanno tuttavia una qualche coesione, siccome vedrete colle seguenti esperienze.

Esperienza 5.ª — Verso da una boccetta una grossa goccia di mercurio sovra una superficie piana di vetro. Ora, premendo alcun po' colle dita questa goccia, la posso spartire in tanti piccoli globicini. Però questi globuli fanno prova che le particelle di mercurio si tengono tra loro collegate. Ed infatti, ponendo un' altra lastra di vetro al disopra della prima, e comprimendovela contro, potrò bensì schiacciare quei globetti a forma di altrettanti dischetti: ma non appena solleverò la lastra superiore, il mercurio si ricomporrà nella primitiva forma globulare.

Esperienza 6.ª — Gettando alcune goccie d' acqua su di una superficie dianzi imbrattata di olio o di grasso, vedremo che ancor esse prenderanno la forma arrotondata, non dissimile da quella de' globuli di mercurio, provandoci così che pur le particelle d' acqua tendono a star unite fra loro.

D' altra parte le particelle dei gas, come l' aria che noi respiriamo, non hanno alcuna tendenza a stare insieme: ma piuttosto operano al rovescio. Infatti esse si tengono separate le une dalle altre, senza che intervenga alcuna forza per indurle a far ciò.

Cosichè voi vedete che qui abbiamo tre diversi stati della materia, il *solido*, il *liquido*, ed il *gasoso*. E ciascuno di questi stati offre tali proprietà che servono a distinguerlo dagli altri.

11. Definizione di solido. — Un corpo solido, quale è un pezzo di ferro o di legno, resiste a tutto che opera per modificare la sua forma od il suo volume, presentando sempre la stessa grandezza (volume) e la stessa figura, a meno che venga violentemente disfatto.

12. Definizione di liquido. — Un liquido, come l'acqua, quando è versato da una boccia in un altro

vaso qualsiasi (purchè abbia la conveniente grandezza), vi si riduce colla superficie superiore a livello, e vi presenta sempre lo stesso volume. Voi non potete forzare un litro d'acqua a stare nella misura di un mezzo litro. Esso non lascia mai di presentare tutto il suo volume: ma d'altra parte non offre una sua particolar figura, prestandosi ad assumere quella dei vasi ne' quali è versato.

13. Definizione di gas. — Un gas invece mai non presenta una superficie limite sua propria. Se passate una quantità di un dato gas in un vaso perfettamente vuoto, il gas riempirà il vaso stesso internamente. D'altra parte un gas non resiste, così fortemente come un liquido, per occupare un dato spazio: poichè, col mezzo di una conveniente forza, posso comprimere quel gas, che ora empie la boccia di un litro, a star tutto in altro vaso di un mezzo litro, ed anche in uno spazio minore, se adopererò una forza bastevole.

Insomma un gas può essere ridotto sotto uno spazio minore, mentre un liquido vi si oppone fortemente. In altre parole, i gas sono grandemente compressibili, i liquidi lo sono pochissimo e quasi punto.

PROPRIETÀ DEI SOLIDI.

14. Il carattere particolare di un solido è quello di presentare, non solo un dato volume, ma ancora una figura sua propria.

Esperienza. 7.ª — Nella figura 4ª vedete due vasi di forme differenti, ma della stessa capacità. Se empite esattamente l'uno di essi con acqua, poi la ver-

sate nell'altro, questo pure sarà completamente empito dalla stessa acqua.

Fig. 4.

Più sotto vedete due pezzi di legno che hanno *l'istessa forma* o figura, quella d'un cubo, ma l'uno è più grande dell'altro — il loro *volume è differente.* —

Ora potrete ben comprendere che vogliasi significare coi vocaboli spazio o grandezza o volume (giacchè queste tre parole significano qui la stessa cosa), e che s'intenda per figura o per forma. Se prenderete un solido che abbia la forma di uno di quei due vasi, non potrete forzarlo ad assumere la forma dell'altro, sebbene la grandezza del volume di essi sia eguale. Nè, prendendo un solido che abbia il volume del primo di quei due pezzi di legno, potrete comprimerlo così da stare tutto nel secondo, sebbene abbiano la medesima forma. Un solido perfetto conserverà la sua figura, e conserverà pure il suo volume.

15. Badate però che, quando noi diciamo di non poter fare una cosa, realmente intendiamo di non poterla fare senza una grandissima difficoltà e non comple-

tamente, ma solo in piccola misura. A ben intender ciò sarà meglio spiegarci con una serie di esperienze.

Esperienza 8.ª — Prendo una verga di ferro, e dapprima tento di spezzarla col mezzo di una lieve percossa: ma essa non si spezza. Tento di poi di allungare la stessa verga, fissandone un estremo ad un punto fisso, ed applicando all'altro estremo un piccol peso: e la verga non si allunga.

Poscia, col mezzo di due caviglie, infisse alle estremità della verga stessa, come vedete nella figura, mi

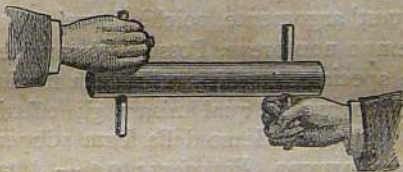



Fig. 5.

adopero per attorcerla, girando l'uno degli estremi in senso opposto all'altro: ma la verga non si torce.

In seguito dispongo la verga ritta sovra un tavolo, e pongo un peso non grande al disopra dell'estremo libero, all'intento di comprimerla: ma la verga non si comprime.

Finalmente mi adopero per infletterla, disponendola orizzontalmente su due sostegni vicini ai suoi estremi ed applicandole nel mezzo un piccolo carico: ma essa non s'inflette.

Ora, questa verga di ferro che non posso nè rompere, nè allungare, nè torcere, nè comprimere, nè inflettere, è un eccellente esempio di corpo solido. Eppure, se applico ad essa forze assai grandi, mi sarà possibile di stirarla, di torcerla, di comprimerla o di piegarla.

Ed in vero io avrò un tal poco stirata, attorta, compressa ed inflessa la verga stessa, anche nell'esperienza testè descritta, ma non abbastanza da rendervi sensibili le modificazioni così prodotte. Infatti la grandezza dell'allungamento, della torsione, della contrazione e della flessione, che in ogni caso produrrò, dipende dalla grandezza della forza che adopero a tal uopo.

Ed appunto nella fisica noi ci proponiamo sempre di scoprire le relazioni tra la forza impiegata e gli effetti da essa prodotti. Non posso qui svolgere per bene quest' argomento, poichè dovrei spenderci intorno un tempo non breve. Posso però considerare una operazione speciale, qual'è quella della flessione, procurando di trovare in qual misura gli effetti di essa dipendano dalla grandezza della forza adoperata.

16. Incurvamento. *Esperienza 9.ª* — A tal proposito, sosteniamo pei due suoi estremi un'asta prismatica di legno, e sospendiamo nel mezzo di essa un peso un po' grande: allora, mercè una scala, misuriamo di quanto siasi abbassato per tal peso il punto di mezzo o centro dell' asta. Raddoppiamo ora il peso applicato in tal punto, e rileviamo la nuova posizione del centro dell'asta sotto

Fig. 6.

l'opera di quest' altro peso, e troveremo che esso, pel peso due, si è abbassato circa il doppio, di quanto erasi abbassato dianzi pel peso uno: ossia l'*incurvamento è prossimamente proporzionale al peso applicato* al corpo che s'inflette.

Esperienza 10.ª — Prendiamo ora la stessa asta di

legno, e disponiamola sui medesimi appoggi, in modo però che presenti di fianco la maggior sua altezza, ossia la maggiore sua superficie laterale, ed applichiamo lo stesso peso, come dianzi. Vedremo che l'asta si infletterà meno di prima, di quando cioè essa presentava, veduta di fianco, una altezza minore.

17. Resistenza dei materiali. — Se un architetto od un ingegnere deve porre in opera una gran trave di legno nella costruzione d'un fabbricato, troverà evidentemente più vantaggioso, per la resistenza della trave, di disporla così che la di lei altezza sia la maggior possibile: giacchè in tal posizione essa si piegherà di meno sotto un dato carico.

L'architetto e l'ingegnere devono adunque conoscere per bene quanto riguarda la resistenza dei materiali che intendono adoperare, per usarne in modo che offrano la maggior forza possibile colla minor quantità dei materiali stessi, e devono quindi studiare la miglior maniera di adoperare il legno ed il ferro.

Un'altra cosa, alla quale l'architetto o l'ingegnere devono ben por mente nel costruire una casa od un ponte, è quella di farli abbastanza forti da reggere un carico cinque o sei volte maggiore di quello che devono portare. Talvolta un edificio può essere tanto robusto da reggere il peso dei pavimenti, gravati anche da notevol carico, e un ponte può resistere al passaggio d'un lungo treno, senza punto guastarsi. Eppure i pavimenti del fabbricato possono di tanto piegarsi, da non poter interamente raddrizzarsi, quando il carico è tolto; e similmente il ponte può essersi inflesso per modo da non rifarsi al segno, quando il treno è passato. In tal caso il pavimento si rende sempre meno resistente ogni volta che su di esso rin-

novasi il carico, ed il ponte rendesi meno saldo ogni volta che il treno vi trascorre sopra. E quindi andranno ogni volta incurvandosi più e più, finchè all' ultimo cederanno. Pertanto l'architetto e l'ingegnere dovranno usare gran cura affinchè coteste loro costruzioni non vengano inflesse oltre *i limiti del loro ritorno al primitivo stato.*

18. Attrito. — Innanzi lasciare i solidi, diremo poche parole su l' attrito.

Ponendo sovra un tavolo di legno un corpo pesante, questo richiederà un sensibile sforzo per essere fatto scorrere sul tavolo stesso. Ma se il tavolo, invece d'esser di legno, fosse di marmo, allora con uno sforzo minore si potrebbe far scorrere lungi il corpo medesimo. Che se poi questo fosse un pezzo di ghiaccio d'egual peso, lo si muoverebbe con uno sforzo assai più piccolo su lo stesso tavolo.

Ora, la forza che rende difficile il far scorrere oltre un grave, è chiamata *forza d'attrito.*

Noi non potremmo far di meno dell' attrito, come non potremmo far senza dell'altre forze. Se non vi fosse attrito, noi potremmo bensì camminare sdrucciolando, come si fa sul ghiaccio quand'è piano: ma, se appena vi fosse un menomo pendio, nessuno sarebbe capace di tenersi ritto, ed ogni cosa scivolerebbe giù, sino al fondo della pendenza.

PROPRIETÀ DEI LIQUIDI.

19. Essi conservano il loro volume. — In un liquido, come l'acqua, possiam smovere le particelle

con tutta facilità. Ma non possiamo con nessun artificio forzare una data quantità d'acqua a capire entro un minore spazio (art. 12), come sarebbe il farsi sì che un mezzo litro contenga un intero litro.

Esperienza 11.ª — Nondimeno tentiamo di far ciò, per vedere qual risultato otterremo: perciocchè convien sempre fare un' esperienza quand' essa è possibile. Prendiamo una massa d'acqua, contenuta in un cilindro, chiuso ad un capo, mentre all'altro capo evvi uno stantuffo od embolo impermeabile. Adoperiamoci per ispinger questo all'indentro, all'uopo di forzar l'acqua sotto un minor volume, ponendo anche un grave peso sovra lo stantuffo: con tutto ciò non potremo comprimere sensibilmente l'acqua.

Rammentandoci però quanto si disse poco sopra, a proposito della possibilità di modificare la figura ed il volume dei solidi, comprenderemo che anco i liquidi saranno in fatto suscettivi di compressione, ma, per rendere sensibile codesta piccola loro diminuzione di volume, richiedonsi apparecchi o strumenti assai complessi e squisiti.

20. I LIQUIDI TRASMETTONO LE PRESSIONI. *Esperienza 12.ª* — Abbiasi un dato volume d'acqua, rinchiuso fra due cilindri, comunicanti per mezzo d'un tubo, e due stantuffi tra loro eguali. Spingendo l'uno di questi all' ingiù, obbligheremo l'altro a salire; talchè, ponendo su l'uno un peso di cinque chilogrammi e su l'altro un peso eguale, equilibrandosi questi tra loro, i due stantuffi si terranno allo stesso livello, operando a modo d'una bilancia a bilico.

Fig. 7.

Esperienza 13.ª — Nell'ultima esperienza i due em-

boli si muovono entrambi verticalmente, come nella fig. 7. Ora l'uno di essi sia verticale e l'altro orizzontale, e su quest'ultimo, con opportuno congegno, facciamo operare un peso di cinque chilogrammi: si otterrà egualmente l'equilibrio, applicando altri cinque chilogrammi su l'embolo verticale. Ponendo invece su questo sei chilogrammi, spingeremo all'infuori l'embolo orizzontale; e similmente, facendo operare su quest'ultimo il peso di sei chilogrammi, spingeremo all'insù, come dianzi, l'embolo verticale. Così, col mezzo dell'acqua, possiamo convertire la spinta verticale all'ingiù d'un peso, posto su uno stantuffo, in una equivalente spinta orizzontale all'infuori sovra un altro stantuffo.

E così vedete che un liquido, come l'acqua, comunica le pressioni in tutte le direzioni. Questo fatto venne scoperto da Pascal.

Esperienza 14.ª — In quest' altra esperienza abbiamo ancora due cilindri verticali, ma la sezione d'uno di essi è doppia di quella dell'altro, e nello stesso rapporto stanno le superficie degli stantuffi, che entro di essi ponno muoversi a tenuta di liquido. Ora, applicando cinque chilogrammi sull'embolo piccolo, non potremo più equilibrare questo peso con un peso eguale posto sovra l'embolo grande, ma bisognerà porre su questo un peso doppio, cioè dieci chilogrammi. Similmente, se lo stantuffo più grande avesse una superficie od un'area quintupla di quella dell'altro, troveremmo che, con cinque chilogrammi sullo stantuffo piccolo, si equilibrerebbero venticinque chilogrammi, posti sul grande.

Laonde, non solo con una spinta all'ingiù su l'uno provochiamo una spinta all'insù su l'altro, ma la grandezza di questa spinta all'insù è proporzionale alla

superficie dello stantuffo; cosicchè, se un embolo ha un'area dieci volte maggiore dell'altro, esso sarà spinto all'insù con una forza dieci volte maggiore: e così via.

21. Torchio idraulico. — Questa è un'importante proprietà dell'acqua, e se n'è fatto uso nella costruzione di una potente macchina, chiamata torchio di Bramah, dal nome del suo inventore. Eccone la figura. Vedete qui due colli di stoffe di lana, che voglionsi comprimere quant'è possibile, affinchè occupino minore spazio, nel farle viaggiare da uno ad altro paese. Sonvi

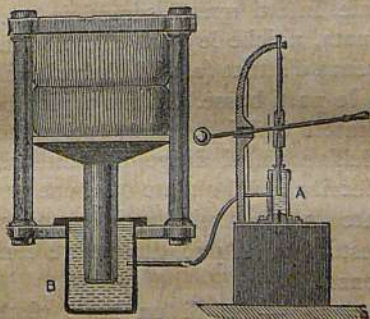



Fig. 8.

due corpi di tromba, nei quali si muovono due stantuffi, l'uno grande e l'altro piccolo; il grande offre un'area che è cento volte maggiore di quella del piccolo.

Ora, applicando una tonnellata sul piccolo stantuffo, devo porre un peso maggiore sul più grande, per tenerlo al posto, essendo la sua superficie cento volte quella del primo: talchè dovrei applicare cento tonnellate su l'embolo grande per equilibrare una sola tonnellata posta sul piccolo. Epperò lo stantuffo largo

sorgerà coll'enorme forza di cento tonnellate, e con tal forza premerà su gl'involti di stoffe, le quali perciò rimarranno per bene costipate insieme. In così fatta macchina è però necessario che ogni parte sia ben robusta e ben serrata, altrimenti l'acqua sfuggirebbe con immensa forza per le fenditure e per le deboli commessure.

22. I LIQUIDI TROVANO IL LORO LIVELLO. — Altra proprietà dei liquidi è quella per cui si dispongono sempre in modo da presentare una superficie di livello od orizzontale. Infatti questa superficie non potrebbe tenersi inclinata, poichè le parti alte, non incontrando alcuna resistenza d'attrito (art. 18), scivolerebbero giù di subito verso le parti basse. Un filo a piombo, quale si usa dai muratori e dai geometri, sostenuto sovra la superficie dell'acqua, si dirige perpendicolarmente a tale superficie: il che val quanto dire, che esso non può stare inclinato in qualsiasi direzione, ma sta ritto al disopra. Questo fatto si può dimostrare con una semplice esperienza.

Esperienza 15.ª — Su di un largo piatto si versi tanto mercurio da coprirne tutto il fondo, formandovi una superffcie di livello. Sospendendo poi il filo a piombo al disopra del vaso, vedrete che l'immagine riflessa del filo ed il filo stesso saranno in una medesima direzione, tanto che l'una apparirà il prolungamento dell'altro. Il che ci prova che il filo non è punto inclinato rispetto alla superficie del mercurio: altrimenti quelle due immagini, la riflessa e la diretta, non formerebbero una retta, ma apparirebbero quali due linee inflesse l'una sull'altra.

Esperienza 16.ª — Quando un liquido è contenuto in più tubi, che comunichino tra loro, si dispone in

tutti colla sua superficie ad un medesimo livello, siano poi questi tubi inclinati o diretti, e qualunque sia la

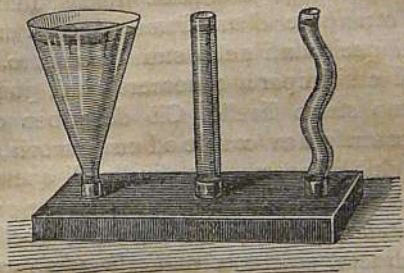



Fig. 9.

loro forma. Per convincersi di ciò, basta ch'io versi acqua in uno di questi vasi di forma assai diversa, e vedete che essa giunge in tutti allo stesso livello.

23. Livello ad acqua. — Ciò mi conduce a parlarvi del livello ad acqua, che vedete rappresentato nella figura 10ª, e che consiste in un lungo tubo, i cui

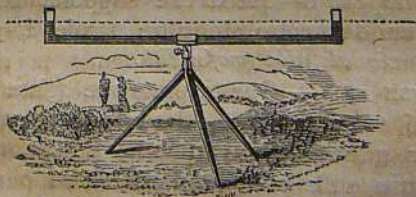



Fig. 10.

estremi sono piegati ad angolo retto e trasparenti. L'acqua contenuta fa sì, che, ponendo l' occhio in linea colla superficie ch'essa presenta ai due estremi, si è sicuri di guardare secondo una linea orizzontale

o di livello: ossia tutti i punti visibili lungo quella linea si trovano ad un medesimo livello; cosicchè, qualora in tal luogo accadesse un'innondazione dovuta allo straripare d'un fiume, l'acqua raggiungerebbe tutti quei punti nello stesso momento.

In molti casi importa conoscere quali punti si trovino ad uno stesso livello. Ciò deve ben conoscere chiunque costruisca un canale od una ferrovia, ed a tale intento ei può adoperare un livello di questa specie. Però la specie di stromento più usitato per quest'uopo chiamasi *livello a cannocchiale*, mentre quello che vi ho descritto testè si denomina *livello ad acqua*.

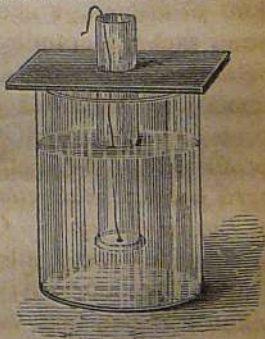
24. Pressione di profondità nell'acqua. — Abbiamo qui davanti un vaso profondo e pieno d'acqua. Comprendete tosto che gli strati d'acqua vicini al fondo sono premuti dal peso di tutta l'acqua che sta loro al disopra, e che perciò la pressione su quegli strati sarà più grande che se essi fossero poco al disotto della superficie. Uno strato che trovasi a due decimetri di profondità sotto la superficie, subirà una pressione doppia di quella che sopporta uno strato profondo un decimetro. In altre parole *la pressione sarà proporzionale alla profondità.*

Esperienza 17.ª — Questa pressione agisce in tutte le direzioni, tanto all'insù e lateralmente, quanto all'ingiù. Per mostrarvi questo fatto, ho qui un vaso pieno d'acqua, sulle cui pareti laterali sono praticate alcune aperture a diverse profondità, chiuse da opportuni tappi. Ora, togliendo il tappo da un foro poco inferiore alla superficie dell'acqua, questa è spinta fuori dalla pressione interna, ma non tanto fortemente, come vedete. Invece ritirando il tappo da un foro vicino al fondo, osservate che, pel gran peso dell'acqua

sovrastante, la pressione essendo ora molto maggiore, l'acqua erompe fuori con gran forza. Ciò valga per le pressioni laterali.

25. Ora voglio mostrarvi che accade lo stesso per le pressioni dal basso all'insù. A tal uopo prendo ciò che chiamasi un cilindro, cioè un tubo di vetro vuoto, aperto alle due estremità. Però ne ho chiuso temporaneamente il fondo, coll'applicarvi un sottile dischetto, che trattengo per mezzo di una funicella, passante pel vuoto del cilidro. Quindi, tenendola tesa, sospingo il cilindro sotto la superficie dell'acqua contenuta in un vaso, e vedete che posso rallentare ed abbandonare la cordicella, senza che il dischetto si stacchi dal fondo, perchè vi è tenuto dalla pressione su di esso esercitata di sotto in su dall'acqua.

Verso poi nel cilindro altr'acqua, tinta in azzurro con indaco; eppure il fondo si tien fermo, e solo si staccherà quando l'acqua colorata giungerà entro il cilindro presso il livello dell'acqua esteriore; perchè allora la pressione, esercitata all'insù dalla stessa acqua esterna contro il dischetto lasciato libero, vien equilibrata da una eguale pressione, esercitata all'ingiù dall'acqua colorata postavi entro.

Fig. 11

Alcuno di voi che si trovasse in una barca, sovra un'acqua profonda, potrebbe facilmente persuadersi dell'enorme pressione dell'acqua a grandi profondità. Prenda una bottiglia ordinaria, empita per tre quarti di acqua e la serri con un tappo di sughero; indi vi

attacchi una lunga funicella, e la lasci discendere nel fondo dell'acqua. Se la profondità sarà sufficiente perchè la pressione dell'acqua esterna spinga il tappo entro la bottiglia, allora, tirando su la bottiglia, la troverà piena d'acqua e serrata di nuovo dal tappo, spinto all'infuori dalla pressione interna.

26. Spinta dell'acqua. — Volendo ora darvi una idea precisa di ciò che dicesi la spinta dell'acqua o forza di galleggiamento, eseguirò qualche altro esperimento.

Esperienza 18.ª — Prendiamo la bilancia della quale parlammo più addietro (pag. 14), e poniamola in or-

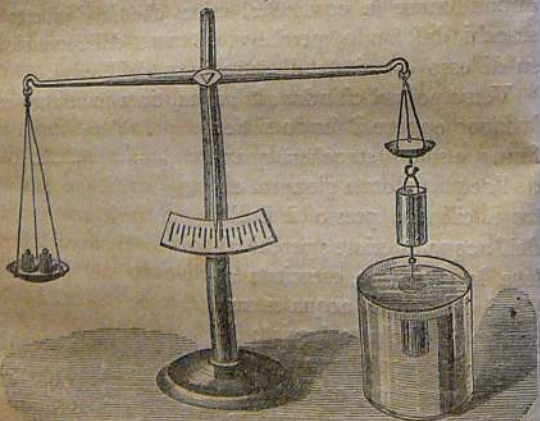



Fig. 12.

dine per fare delle pesate a dovere. Eccovi un corpo che pesa cento grammi, e ben vedete che mentre lo pesiamo, esso sta immerso nell'aria. Ora, per mezzo di un filo, sospendiamolo al disotto d'uno dei gusci

della bilancia, e facciamolo sommergere nell'acqua. Che ne risulta? Troviamo che attualmente quel corpo più non sembra pesante, e richiede che si carichi il medesimo guscio di altri cento grammi, ossia di quant'era dianzi il suo peso, all'uopo di equilibrare lo sforzo dell'altro guscio.

Esperienza 19.ª — Potete voi immaginare che questo corpo perda affatto il suo peso? Coll'esperienza vi mostrerò che ciò non è possibile. Innanzi tutto pongo una tazza, contenente acqua, su uno dei piatti; pongo su l'altro i pesi per equilibrarla, e sospendo con un filo lo stesso corpo che pesa 100 grammi ad un esterno sostegno. Abbasso di poi questo corpo, sicchè si sommerga tutto nell'acqua della tazza portata dalla bilancia, e vedete che ora questa tazza si mostra più pesante, e che devo porre un peso di 100 grammi su l'altro piatto, per ricondurre la bilancia all'equilibrio. Ma tale è appunto il peso del corpo: epperò questo non ha punto perduto di peso. Il peso suo è qui ancora; cioè la tazza, con entro il corpo, pesa 100 grammi di più, che se questo non vi fosse; ma il corpo stesso ha il suo peso apparentemente portato dalla spinta dell'acqua, la quale agisce come una spinta dal basso all'insù.

Esperienza 20.ª — Abbiam qui (fig. 12ª) due cilindri d'ottone, l'uno compito, l'altro cavo, nel cui vano entra esattamente quello pieno. Questi due cilindri sono sospesi l'uno sotto l'altro ad un guscio della bilancia, stando però in alto il cilindro cavo: sull'altro guscio sono posti i pesi che riducono all'equilibrio la bilancia. Facendo ora sommergere il cilindro pieno nell'acqua contenuta in un vaso sottoposto, la bilancia trabocca dall'altra banda, poichè il cilindro, collo stare nell'ac-

qua, presenta un minor peso apparente, come se perdesse parte del proprio peso. Per giudicare la quantità di questa diminuzione, versiamo acqua nel cavo del cilindro superiore, sino ad empirlo esattamente, e vedrete che con ciò viene appunto rimesso quel peso, che il cilindro inferiore sembrava aver perduto, riequilibrandosi la bilancia. Ora, il volume dell'acqua versata nel cilindro superiore essendo uguale al volume del cilindro sottoposto, potremo concludere che quest' ultimo, stando nell' acqua, offre una diminuzione nel peso apparente, la quale corrisponde al peso d'un volume di acqua pari al suo, in opera della spinta che l' acqua involgente esercita di sotto in su sovra il corpo immerso.

E poichè lo stesso accade con qualsiasi altro corpo, potremo dire: che qualunque corpo, pesato nell' acqua, risente una spinta, la quale fa apparire diminuito il suo peso di una quantità uguale al peso d'un volume d'acqua corrispondente a quello del corpo. Per brevità di linguaggio, potrem dire: che *un corpo sommerso nell'acqua vien alleggerito nel suo peso di quanto è il peso d'un egual volume di acqua.*

27. Galleggiamento sull'acqua. — Vediamo ora come accada il galleggiamento di un corpo sull'acqua. Se il corpo immerso nell' acqua è più pesante di questa, a volumi eguali, come poc' anzi avveniva pel cilindro sommerso, il suo peso apparente diminuirà in corrispondenza al peso di un pari volume d' acqua. Perciò esso conserverà ancora una parte di peso, essendo specificamente più grave dell'acqua, sotto eguali volumi, e quindi andrà al fondo del vaso per tal rimanenza di peso apparente.

Esperienza 21.ª — Poniamo ora che il corpo adoperato, a parità di volume, abbia lo stesso peso del-

l'acqua, qual fu il caso dell'esperienza 18ª. In tal caso apparirà che il corpo, stando nell'acqua, abbia perduto interamente il proprio peso.

Ma che accadrà poi se il corpo sarà più leggiero dell'acqua a parità di volume? Potrà esso perdere più che il proprio peso? domando io. Cerchiamo con un esperimento che cosa avvenga in questo caso.

Esperienza 22.ª — Eccovi un pezzo di legno, il quale pesa meno dell'acqua a volumi eguali. Io mi adopero per tenerlo sotto la superficie dell'acqua, ma sento che ora la pressione di sotto in sù, prodotta dalla spinta dell'acqua, è maggiore del peso del corpo: cosicchè esso è sospinto verso la superficie, e nuota a galla dell'acqua.

Da tutte queste esperienze possiamo conchiudere: 1.º che un corpo immerso nell'acqua viene alleggerito nel suo peso di quant'è il peso di un uguale volume di acqua; 2.º che, in conseguenza di ciò, se il corpo è specificamente (cioè a parità di volume) più pesante dell'acqua, cadrà al fondo; se il suo peso è eguale a quello dell'acqua, pure a volumi eguali, non cadrà, nè galleggierà; e se infine è specificamente meno pesante dell'acqua, starà a galla di questa.

28. Densità specifica. — Ora vi mostrerò che da queste cognizioni si ricava un metodo, col quale possiamo determinare di quanto una sostanza sia più grave dell'acqua, ad eguali volumi.

Esperienza 23.ª — Supponiamo d'avere un piccolo pezzo d'oro, il quale pesi nell'aria esattamente 19 grammi. Pesandolo poi immerso nell'acqua, il suo peso apparente riducesi a 18 grammi, mostrando così la diminuzione nel peso di un grammo. Ora questa diminuzione eguaglierà il peso di un pari volume d'ac-

qua, il quale sarà dunque di un grammo. Ma l'oro per sè pesa 19 grammi, quindi pesa 19 volte più dell'acqua a pari volume. Questo è quanto vogliamo significare dicendo che *il peso specifico* dell'oro è 19.

Ora abbiamo testè appreso che avremmo avuto lo stesso risultato qualunque fossero il volume o la figura del pezzo d'oro adoperato.

E, d'altra parte, se alcuno reggendo colla mano tal cosa che esso dubita non sia realmente oro, ma altra cosa simile a questo metallo, potrà risolvere il dubbio col pesare quel corpo nell'acqna: poichè, se non risulterà 19 volte più grave dell'acqua, a parità di volume, non sarà veramente oro.

29. Questo metodo per trovare il peso specifico o la densità relativa dei corpi veniva scoperto, più che due-mila anni or sono, da un filosofo chiamato Archimede.

Erone, re di Siracusa, riceveva una corona d'oro, ed aveva pur motivi per credere che l'orefice avesse mischiato coll'oro non poco argento; nè sapeva pensar modo per accertarsi di ciò. Per una tale difficoltà venne chiamato Archimede. Il vero metodo per risolvere la questione si presentò ad Archimede un giorno in cui andò a prendere un bagno; ed è tradizione che egli immediatamente uscisse fuori dal bagno, ancor nudo, gridando « *eureka, eureka* », che significa, « ho trovato, ho trovato ». Egli allora, tornato a casa, prese un pezzo di oro, che conosceva essere puro, e vidde che, quando lo pesava nell'acqua, subiva la diminuzione di una dicianovesima parte del suo peso: per cui arguì che l'oro puro è 19 volte più pesante dell'acqua, a parità di volume. Allora prese la corona d Erone, e trovò che, quando la pesava nell'acqua, la di-

minuzione era maggiore della dicianovesima parte del totale suo peso: talchè argomentò che essa non era fatta con oro puro, e quindi, con buon fondamento, l'orefice venne punito della sua frode.

30. Spinta degli altri liquidi. — I diversi liquidi, al pari dell'acqua, esercitano una spinta sui corpi nei medesimi immersi. Anzi ogni liquido esercita questa spinta con una sua particolar misura. I liquidi leggieri, quali sono l'alcole e l'etere, la esercitano piccola, relativamente all'acqua; mentre un liquido pesante, qual è il mercurio, la dispiega più grande.

Per convincervi di ciò, ecco che verso un po' di mercurio in un vaso, e pongo sulla sua superficie un pezzo di ferro: vedete che il ferro galeggia. Dunque il ferro dev' essere, a parità di volume, più leggiero del mercurio.

D'altra parte l'oro è più grave del mercurio, essendo questo 13 volte e mezzo specificamente più pesante dell' acqua; laddove l' oro, come vedeste poc' anzi, è circa 19 volte specificamente più grave della medesima.

L' acqua salsa è alcun po' più grave dell'acqua dolce; e vi è in Palestina un lago, chiamato Mare Morto, che è tanto salso, epperò tanto più denso, che una persona, immergendosi in quell'acqua, non può affondare, anche volendolo.

31. Capillarità. — Prima di smettere il discorso sui liquidi, voglio farvi parola di un caso ben noto, nel quale l'acqua si alza da sè sopra il proprio livello.

Esperienza 24.ª — Poniamo un pezzo di sughero a galleggiare sull' acqua, contenuta in un vaso. Vedete che solo le sue parti inferiori toccano la superficie dell'acqua stessa: eppure ben presto troveremo che tutto

il pezzo è bagnato. Similmente se immergiamo nell'acqua una striscia di carta sugante o di tela cotone, vedremo salire l'acqua sovra il proprio livello.

Se invece portiamo il sughero o la striscia di carta a contatto della superficie del mercurio, questo non si innalzerà nè entro il sughero, nè nella carta. Laonde questi due liquidi, l'acqua ed il mercurio, si comportano differentemente rispetto ai corpi predetti. Primieramente vedete che l'acqua, non solo sorge in essi, ma rimane entro; dovecchè il mercurio nè vi si innalza, nè li bagna: quand'anco il mercurio salga alcun po' sulla superficie dell' argento e dell' oro, che esso bagna.

In simil modo vedete che l'acqua sale un tal poco entro cannelli di vetro, tuffati in essa coll' estremo inferiore, e tanto più vi si innalza quant' è più stretto del loro vano interno. Laddove, negli stessi cannelli, il mercurio, non solo non s'innalza, ma si tiene più depresso nel loro interno, ed ancora tanto più, quanto più angusto è il vano. Tuttavia il mercurio s'innalza alcun po' entro cannelli formati di argento e di oro.

PROPRIETÀ DEI GAS.

32. Pressione dell'aria. — I gas offrono molti punti di somiglianza coi liquidi; ma per altri rispetti differiscono da questi. Un liquido può presentare una propria superficie limite, cosicchè vedete piena solo a metà questa bottiglia da un liquido, il quale nel resto prende la forma delle pareti di essa. Ciò non può ac-

cadere per un gas. Qui, per esempio, ho una vescica che contiene un gas, il quale la riempie tutta e non soltanto in parte. Ed invero un gas tende ad investire ogni spazio che non sia già occupato da altro corpo, ed esercita nel far ciò uno speciale suo sforzo.

Esperienza 25.ª — Con un esperimento ben semplice posso provarvi questo fatto. Ho qui una macchina pneumatica, che descriverò poi a pag. 47. Intanto vi basti sapere che, col mezzo di essa, posso cavar fuori da questa campana l'aria atmosferica, che ora essa contiene. Osservate questa palla di gomma elastica piena d'aria, che colloco sotto la campana. Ora maneggio la macchina, cioè estraggo aria dalla campana. Che ne risulta? L'aria contenuta nella palla, non potendone uscir fuori, si adopera nondimeno per riempire lo spazio lasciato dall'aria estratta dalla campana, ed ottiene ciò, forzando la palla a dilatarsi. Ed ecco che essa si fa sempre più voluminosa, nel mentre continuo nell'estrazione dell'aria. Se poi lascio rientrare l'aria nella campana, la palla ritorna ben presto al suo primo volume.

Esperienza 26.ª — Modifichiamo ora l'esperimento in questa maniera. Pongo sul piatto della macchina una campana, la quale ha superiormente una larga apertura, coperta da una sottil lamina di gomma elastica, ben serrata intorno all'orlo di essa. Ora estraggo aria come dianzi dall'interno della campana, e veggo che l'aria esterna si adopera per diffondersi nello spazio lasciato da quella, spingendo la copertura di gomma elastica verso l'interno, e tanto

Fig. 13.

la preme, che se la esperienza è continuata di molto, codesta pressione può diventar sì grande, da squarciare la gomma elastica.

33. Peso dell' aria. — Vedete che l' aria spinge sè stessa contro ogni spazio che sia vuoto, se così può dirsi; perchè in fatto incontriamo una grandissima difficoltà a vuotare completamente d'aria qualsiasi vaso. Nondimeno possiam cavar fuori da esso la maggior parte dell'aria ch' ei contiene. Nella fig. 14ª, per esempio, vedete un pallone, che può essere adattato alla macchina pneumatica, così da estrarne l'aria. Si può per tal modo riconoscere che allora esso pesa meno di quando è pieno, e che perciò anche *l' aria è pesante.*

Fig. 14.

Esperienza 27.ª — Sospendiamo ad uno dei bracci della bilancia un pallone possibilmente leggiero, e lasciando aperta la chiave applicata al suo collo, determiniamone il peso. Questo peso può ritenersi esser quello del pallone medesimo pieno d'aria atmosferica.

Esperienza 28.ª — Mentre questo pallone sta così contrappesato, riempiamolo, per ispostamento (vedi le istruzioni alla fine del libro), con un gas specificamente più pesante, chiamato acido carbonico, che imparaste a conoscere ne' *Principj di Chimica* (art. 33). Vedete ora che lo stilo (il giudice) della bilancia si sposta, accennando essere ora più grave il peso del pallone che non quando conteneva aria. Perciò alcuni gas sono specificamente più pesanti di altri.

Esperienza 29.ª — L'idrogeno è il più leggiero di tutti i gas. Quindi, se il pallone sta sospeso, come dianzi, ben equilibrato, e col metodo dello spostamento lo

riempiamo d'idrogeno, che imparaste pure a conoscere nei *Principii di Chimica* (art. 17), il giudice della bilancia si sposterà ora in verso opposto al precedente, mostrando che adesso il pallone è più leggiero assai di quando era pieno d'aria; benchè non sia tanto leggiero, come quando nulla vi stava entro, essendosene estratta l'aria.

Da ciò imparate, che sebbene le particelle dei gas sembrino respingersi fra loro, tendendo a ridursi lontane quant'è possibile le une dalle altre, ed investendo sempre i recipienti che le contengono: tuttavia queste particelle dei gas sono attratte dalla terra e son pesanti; cosicchè non vi è pericolo che la nostra atmosfera sfugga lungi dalla terra. Quindi questa atmosfera involge la terra come una specie di oceano di aria, nel fondo del quale noi viviamo e ci moviamo.

34. Ora, per convincervi che la pressione ed il peso in un oceano di aria sono simili a quanto si osserva in un oceano d'acqua, rammentatevi quanto abbiam detto all'articolo 24, che cioè la pressione dell'acqua contro il fondo di un vaso dipende dalla profondità di essa, sicchè quant'è maggiore questa profondità, maggiore è la pressione; e rammentatevi altresì che questa pressione si esercita in tutte le direzioni.

Però, avendovi detto che noi sopportiamo una notevole pressione per l'aria che ci involge, voi naturalmente mi domanderete: come accade che non ci accorgiamo punto di questa pressione? Al che rispondo: ciò accade semplicemente perchè questa pressione si esercita in tutte le direzioni; dall'alto, dal basso, e lateralmente.

Così, pigliando a mano un foglietto di carta, la pres-

sione dell'aria agisce non solo sulla sua faccia superiore, spingendola in basso; ma agisce pure, e con egual forza, sulla sua faccia inferiore, spingendola all'insù: talchè il foglio di carta può esser mosso liberamente, come se non agisse su di esso la pressione di questo oceano atmosferico. Ed è per la stessa ragione che io posso muovermi dattorno liberamente, e non risento codesta pressione.

Nondimeno spero di convincervi con un semplice esperimento, che or farò, come sia facile rendere evidente la pressione dell'aria.

Esperienza 30.ª — Eccovi due mezze sfere cave, i

Fig. 15.

labbri delle quali si adattano esattamente l'uno all'altro. Applichiamo l'uno sull'altro, e chiudiamo la chiave

che toglie la comunicazione fra l'interno e l'esterno. Probabilmente voi domanderete: perchè la pressione dell'aria non tiene fortemente serrati insieme questi due emisferi? La ragione sta in ciò, che qui abbiamo dell'aria anche nell'interno di essi, e che quest' aria interna li preme all' infuori, appunto nella misura con cui l'aria esterna li preme all' indentro. Ora adattiamo alla macchina pneumatica uno di questi emisferi, quello cioè che porta il tubo munito di chiave; adattiamovi sovra l'altro emisfero, e stando aperta la chiave caviamo fuori l'aria interna. Chiusa di nuovo la chiave, e tolti dalla macchina gli emisferi, ecco che vuolsi un grandissimo sforzo per istaccare l'uno dall'altro. Poichè, nel mentre l'aria esterna li preme insieme, come dianzi, non vi è più l'aria interna che contrasti tal pressione, e quindi si tengono fortemente uniti tra loro.

35. Ora, giacchè l'aria è un fluido ed ha peso, i corpi che stanno in essa risentiranno una spinta come per l'acqua, benchè d' assai minore. Perciò una grande borsa, empita di gas illuminante, o meglio ancora di idrogeno, apparirà più leggiera dell'aria, ad egual volume, e quindi salirà in alto. Una borsa così fatta vien chiamata *pallone aerostatico*, e può essere sufficientemente grande da reggere una larga corba, contenente più d'una persona.

36. Barometro. *Esperienza 31.ª* — Prendiamo ora un tubo di vetro, aperto ad un estremo e chiuso all' altro; empiamolo di mercurio, ed applicato fortemente il dito contro l' estremo aperto, capovolgiamo il tubo, ed introduciamo codesto suo estremo nel mercurio contenuto in un vaso di vetro, avendo cura di non ritirare il dito dall' apertura, finchè questa sia ben al disotto della superficie del mercurio stesso. Nella fi-

gura 16ª vedete il tubo già capovolto, che sorge diritto sul vaso. Osserviamo ora che sia accaduto.

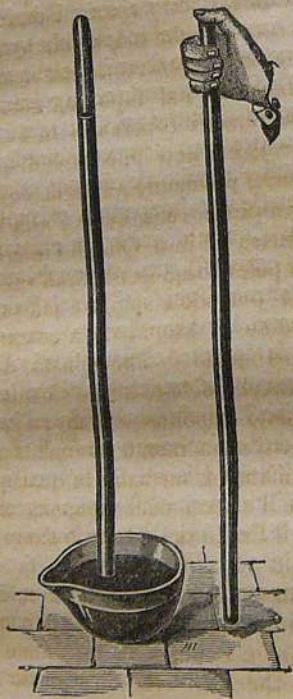



Fig. 16.

Nello scorgere qua, in cima del tubo, uno spazio rimasto vuoto di mercurio, la prima idea che vi farete sarà che lì vi sia dell' aria; ma non è così. In questo spazio non vi è nulla. Però, a ragione, potreste domandarmi: perchè mai l'aria atmosferiça, la quale certamente

preme in tutte le direzioni, e quindi anche sulla superficie del mercurio nel vaso, non ispinge il mercurio stesso a riempire questo spazio vuoto? La risposta è questa: che essa farebbe ciò, se far lo potesse.

Essa preme contro il mercurio del vaso con una forza bastevole a tener su nel tubo una colonna di mercurio alta 76 centimetri (operando in località poco elevata sul mare); ma non può fare di più. Il peso di questo mercurio, premendo all'ingiù, contreppesa esattamente la pressione, colla quale l'aria esterna spinge il mercurio stesso all'insù. Quindi l'interna colonna di mercurio non potendo spingersi più all'ingiù, e la esterna pressione non potendola spingere piu su, ne risulta lì uno spazio vuoto al disopra della colonna.

Questo esperimento fu immaginato da un italiano nominato Torricelli; cotesto tubo è chiamato *barometro*, e lo spazio vuoto superiore è detto *vuoto torricelliano*. Però i barometri sono muniti di una scala divisa in centimetri e millimetri, mediante la quale può misurarsi accuratamente l'altezza della sommità della colonna liquida sovra il livello del mercurio stesso nel pozzetto inferiore.

37. Usi del barometro. — Il barometro è adoperato per molti intenti. Per esempio col suo mezzo possiamo determinare l'altezza di un monte. All'art. 24 avete appreso che nel fondo di un vaso la pressione dell'acqua è maggiore che presso la sommità. La stessa cosa vale per questo oceano d'aria nel quale viviamo: la pressione è maggiore presso il fondo di esso, che nol sia nelle sue parti superiori.

Pertanto, se noi andremo salendo verso la sommità di un monte, avremo su di noi un peso d'aria ognor più piccolo di quello che avevamo stando in basso, e

perciò la pressione dell'aria sarà assai minore alla cima del monte che alla base. Laonde lassù l'aria non sarà capace di equilibrare la stessa colonna di mercurio, che essa regge al basso; cioè il barometro, invece di una colonna di mercurio alta 76 centimetri, ci presenterà una colonna di un'altezza tanto minore quanto più alto sarà il monte. Infatti il mercurio andrà discendendo più e più nel tubo del barometro quanto più alto nell'aria lo recheremo: e così, per mezzo di esso, potremo argomentare a quale altezza ci siam levati.

Per la stessa ragione accade che l'altezza ordinaria del barometro — la quale riesce di circa 76 centimetri, come dissi poc'anzi, pei luoghi che stanno a livello del mare o poco sopra, — risulta tanto minore di 76 centimetri quant'è più elevata la località ov' esso trovasi, rispetto al livello dell'oceano e dei mari.

Il barometro è pure adoperato per fare qualche pronostico su l'andamento del tempo: poichè il barometro, anche in un dato luogo, presenta continue variazioni nella sua altezza. Quando il barometro si abbassa, cioè, quando la sommità della colonna di mercurio discende nel tubo, e specialmente quando si abbassa rapidamente, possiamo aspettarci un tempo cattivo; laddove se il mercurio sta fermo ed alto, possiamo attenderci la continuazione del bel tempo.

Inoltre il barometro, anche quando il tempo è stabile, offre alcune piccole oscillazioni giornaliere, per cui si abbassa di qualche millimetro (uno a due) da alcune ore dopo la levata del sole sino a qualche ora innanzi il tramonto, per elevarsi poi nella sera e nel mattino di quasi altrettanto.

38. Macchina pneumatica. — Poc'anzi dicemmo come si possa estrarre l'aria da una boccia, mercè la

macchina pneumatica. Vediamo ora, col sussidio della figura, come agisca questo stromento.

Ma prima conviene che vi dica cosa intendasi per *valvola*. Una valvola è appunto un ordigno che chiude per bene un canaletto od un foro praticato nella parete di un recipiente, e che può aprirsi soltanto da una banda, per esempio, all'insù.

Ora nella figura 17ª vedete una campana contenente aria, applicata a buon contatto su di un piatto: vedete pure scender giù dal mezzo del piatto un tubo,

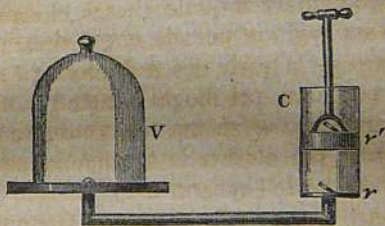



Fig. 17.

il quale, aprendosi da una parte verso la campana, e dall'altra verso un cilindro o corpo di tromba, stabilisce comunicazione fra di loro. Vedete altresì uno stantuffo od embolo, che può muoversi all'insù ed all'ingiù entro il cilindro. Ed infine vedete due valvole chiudenti due aperture, l'una fra il tubo ed il fondo del cilindro, l'altra nel corpo stesso dello stantuffo: ambedue queste valvole si aprono verso l'alto e non all'ingiù.

Supponiamo che da principio l'embolo sia al fondo del cilindro, che le valvole sian chiuse, e che s'incominci appunto a spingere all'insù l'embolo stesso. Nel far ciò lasciam dietro di questo uno spazio vuoto, che

l'aria, od altro gas, tenterà di riempire, se fosse possibile (art. 29). L'aria esterna si sforzerà pure di spingersi in questo spazio, dove non può entrare senza premere contro la valvola superiore, la quale perciò si chiuderà più fortemente, non potendo essa muoversi all' ingiù. Invece l'aria della campana potrà meglio riuscirvi; poichè, diffondendosi attraverso il tubo, si spingerà contro la valvola inferiore, premendola all'insù, nel qual senso appunto essa può aprirsi: e quindi l'aria entrerà nello spazio vuoto.

Ora supponiamo condotto l'embolo sino alla cima del cilindro, e cominciamo a spingerlo all'ingiù. La spinta data all' embolo si comunica all'aria, e questa alla sua volta comunica tale spinta alla valvola inferiore, la quale per ciò sta chiusa; ma l'aria stessa rinserrata nel cilindro può meglio operare sulla valvola superiore, spingendola ad aprirsi. E così, continuando a premere all'ingiù l'embolo, tutta l'aria che stava nel cilindro viene spinta fuori, attraverso la valvola stessa. Or quest'aria che cacciammo fuori è parte di quella che dianzi stava nella campana; cosicchè, col primo movimento doppio di salita e di discesa dell'embolo, noi ottenemmo, ben lo capite, di spinger fuori dell'aria della campana.

Ripetendo poi il medesimo processo, cioè, alzando ancora lo stantuffo, l'aria esterna tiene chiusa la valvola superiore, mentre l'aria interna, per la via del tubo, giungerà ad aprire la valvola inferiore ed a riempire lo spazio vuoto, formato col salire dello stantuffo stesso. E quando questo discende di nuovo, la valvola inferiore sta chiusa e la superiore si apre, per lasciare sfuggire l'aria passata nel cilindro. Cosicchè, ad ogni doppio movimento, verremo estraendo parte dell'aria della campana.

Per riescire in questo lavoro, è necessario che lo stantuffo serri per bene colla sua superficie cilindrica contro la parete del cilindro in cui esso si muove, senza di che l'aria interna, non comprimendosi, non potrebbe operare convenientemente su le due valvole; epperò non potrebbersi estrarre successive quantità d'aria dal recipiente.

Io vi esposi così il modo di operare di questa macchina pneumatica; ma voi non dovete attendervi che tutte le macchine abbiano precisamente una forma simile a quella che vi ho mostrato. Tuttavia *il principio* di tutte codeste macchine, è lo stesso, sebbene *la figura* sia in esse abbastanza differente.

39. Tromba ad acqua. — Dopo avervi così parlato della tromba ad aria, lasciatemi ritornare per un momento al barometro. Voi vedeste come la pressione dell' aria è appunto valevole a tener sollevata una colonna di mercurio di circa 76 centimetri (sempre inteso a livello del mare). Ma l' acqua, essendo più leggera del mercurio, a pari volume, dobbiamo aspettarci che la pressione dell'aria tenga sollevata una colonna d'acqua assai più alta, cioè alta circa 13 volte e mezza l'altezza anzidetta della colonna di mercurio. Infatti, la pressione atmosferica può reggere una colonna d'acqua alta all'incirca 10 metri ed un terzo, ne' luoghi poco elevati sul mare.

Ciò vi agevola l'intendere come operino le trombe comuni. Nella figura 18ª vedete lo schizzo, che mostra l'interno di cosiffatta tromba. Nel fondo abbiamo un serbatoio, dal quale vogliamo trarre l'acqua, per sollevarla; abbiam poi un tubo, che mena da questo serbatoio ad un corpo di tromba, nel quale vedete uno stantuffo, ben serrato contro il cilindro, e nello

stantuffo una valvola aprentesi all'insù; mentre nel fondo del cilindro vi è un' altra valvola, che s' apre pure verso l'alto. Insomma, il cilindro di questa tromba ad acqua è affatto simile a quello della tromba ad aria (art. 38).

Fig. 18.

E qui pure possiam cominciare col supporre che l'embolo sia al fondo del cilindro. Allora, sollevando l'embolo, l'aria esterna, premendo sulla valvola superiore, la terrà serrata, appunto come nella tromba ad aria. D'altra parte l'aria del tubo si spingerà attraverso la valvola inferiore per investire lo spazio lasciato vuoto dal salire dell'embolo. Quando poi abbasseremo questo, la valvola inferiore si terrà chiusa e quella dell'embolo si aprirà, lasciando uscire l'aria. In tal modo potremo estrarre l'aria e dal cilindro e dal tubo che sbocca in esso.

Ma intanto cosa farà l'acqua che sta nel serbatoio? L'aria esterna continua a premere sulla superficie dell'acqua stessa, ed avendo noi tolta via l'aria dal tubo, la esterna pressione non essendo più contrappesata da quella dell'aria preesistente nel tubo medesimo, tenderà a spinger su l'acqua entro di questo. Anzi, quando tutta l'aria sarà levata da esso, il tubo si empirà tutto di acqua, la quale poi irromperà nel corpo di tromba, aprendo la valvola inferiore.

Ma tutto ciò non potrebbesi ottenere, se la distanza fra la superficie dell'acqua nel serbatoio e la valvola inferiore fosse maggiore di dieci metri. Poc'anzi

vedeste che la pressione dell'aria, a livello del mare, può reggere una colonna d'acqua alta circa 10 metri: talchè, se questa fosse più alta, non la reggerebbe. Perciò, ove la predetta distanza fosse maggiore, l'acqua del serbatoio non potrebbe sollevarsi sino al cilindro, nè potrebbe in esso entrare. Invece, ove questa distanza sarà appena di nove metri e mezzo, ed anche meno, la tromba lavorerà a dovere, e l'acqua entrerà nel cilindro. Supponiamo ora che quest'ultimo sia pieno di acqua e che si spinga all'ingiù l'embolo.

La pressione comunicata ad esso si trasmetterà all'acqua e quindi alla valvola inferiore, la quale si terrà chiusa. D'altra parte la pressione dell'acqua forzerà la valvola superiore per aprirla, e movendosi essa appunto all'insù, l'acqua passerà al disopra dell'embolo. Allora poi, quando solleverete lo stantuffo, solleverete con esso l'acqua che vi sta sopra, e potrà questa erogarsi pel tubo di scarico della tromba, e così di seguito: ad ogni moto di salita dello stantuffo l'acqua si sfogherà per questo tubo.

Esperienza 32.ª — Per rendere sensibile ai vostri propri occhi cosa accada in una tromba comune, prenderò un modello, nel quale il corpo di tromba è formato da un robusto tubo di vetro, cosicchè potrete vedervi per entro.

Guardate appunto che, quando io alzo lo stantuffo, la valvola superiore si chiude, e la inferiore si apre; laddove, quando io lo abbasso, si chiude la inferiore e s'apre la superiore.

Intendete pure che se lo stantuffo non si tenesse per bene serrato contro il cilindro, la tromba non agirebbe, impedita dall'operare per l'accesso dell'aria esterna durante il moto ascensivo dello stantuffo stesso.

Talvolta la tromba non può parimente agire, so non
è molto adoperata, poichè il çuoio che circonda l'em-
bolo, rendendosi secco e duro, la tromba non può pa-
rimenti operare. In questo caso, gettando un po' d'ac-
qua al disopra dello stantuffo, il cuoio si rammolisce
e serve ancora a tenere la chiusura.

40. Sifone. — Innanzi lasciare questo argomento, vi descriverò un istrumento chiamato *sifone*, l' azione del quale, come quella della tromba, dipende dalla pressione dell'aria. Quindi non isvolgerò per disteso la sua teoria.

Eccovi il sifone rappresentato nella figura 19ª: lo si impiega per trasportare i liquidi da un vaso ele-

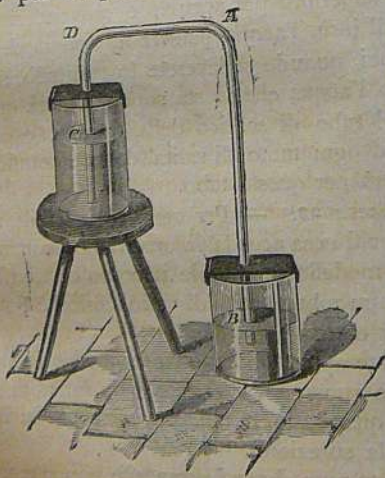



Fig. 19.

vato in altro più basso. Perchè operi, bisogna prima volgere all'insù il sifone, empirlo tutto di acqua, chiu-

dere col dito il ramo più corto di esso, recare questo estremo sotto la superficie dell'acqua nel vaso più alto, ed allora ritirare il dito. Avrete di poi l'acqua che fluisce, come una corrente continua, dal ramo più lungo del tubo nel vaso inferiore. In tal modo potete trasportare completamente l'acqua da un vaso all'altro, purchè il tubo corto del sifone abbia bastevole lunghezza da giungere al fondo del vaso superiore.

Meglio ancora serve il sifone quando in un vaso si abbiano due liquidi di diversa natura o di diversa densità, e si voglia levarne fuori uno solo di tali liquidi, senza smuovere il vaso che li contiene.

CORPI IN MOTO.

41. Energia. — Già vi parlai dei diversi modi o delle diverse affezioni delle cose, e vi dissi che una palla da cannone in moto è cosa ben diversa da una palla ferma, ed una palla rovente da altra fredda. Vi dissi altresì che uno dei principali intenti di questi principii è quello di scoprire alcun che su questi varii modi o su queste affezioni della materia (art. 1); ma non abbiamo cominciato da ciò. Abbiamo prima di tutto parlato delle cose stesse; ed ora voi avete acquistato una bastevole cognizione su le proprietà caratteristiche dei solidi, dei liquidi e dei gas. È tempo perciò che impariate qualche cosa sui modi delle cose stesse.

Vi ho detto che i corpi sono talvolta pieni di energia, com'è una palla da cannone in moto, e talora sono interamente spossati e privi d'ogni vigore, come una palla ferma.

In ciò che segue possiamo soltanto studiare i casi più cospicui ne' quali un corpo si mostra dotato di energia. Ora questo accade quando un corpo è in *moto attuale*; quando è in *rapida vibrazione*; quando è *caldo*; quando è *elettrizzato*. E così, sotto queste quattro divisioni, abbiamo diverse classi di energie dei corpi.

Innanzi tutto parleremo dei corpi in moto attuale, e sotto questo aspetto vi darò qualche idea delle forme di azione di tali corpi. Parleremo poi dei corpi in vibrazione, come di una campana o di un tamburro che suonano, ed a questo proposito vi dirò qualche cosa sul suono. In seguito parleremo dei çorpi caldi, ed a questo riguardo vi dirò alcun che sulla luce e sul calore. E finalmente, parlando dei corpi elettrizzati, discorrerò di quella misteriosa forma di energia, che chiamasi l'elettricità.

In questo libriccino elementare non posso esporre ogni cosa, come farebbesi in un corso completo, sui varii modi dei corpi e sulle varie specie di energie che essi talora posseggono. Tanto deve riservarsi per un grado più avanzato di studj. Qui posso darvi appena un saggio dell'argomento, dicendovi solo quanto v'ha di maggiore importanza.

42. Definizione di lavoro. — Quando noi diciamo che una persona è piena di energia, vogliam dire che essa è piena di vigore per lavorare; similmente quando diciamo che una cosa è piena di energia, intendiamo ch'essa è ricca di potenza per produrre lavoro. Perocchè noi misuriamo l'energia di una cosa qualsiasi colla somma di lavoro che essa può dare, utilizzandola intieramente. Così, se alziamo di un metro il peso di un chilogrammo, facciamo una certa quantità

di lavoro; e se alziamo il peso stesso a due metri fa-
remo un lavoro doppio, ed un lavoro triplo alzandolo
a tre metri; e così via. Quindi, se chiamiamo *uno* il
lavoro per alzare un chilogrammo ad un metro — la-
voro che dicesi anche *chilogrammetro* — diremo *tre* il
lavoro per elevarlo a tre metri.

Inoltre il lavoro per alzare due chilogrammi ad una
doppia altezza è doppio di quello richiesto per alzarne
uno all'altezza medesima; cosicchè diremo *sei* chilo-
grammetri il lavoro per alzare due chilogrammi all'al-
tezza di tre metri. Insomma *moltiplicando il numero dei
chilogrammi sollevati per il numero dei metri di alzata,
avrete nel prodotto il lavoro fatto.*

Supponiamo di puntare un cannone diritto all'insù,
e con esso lanciamo una palla pesante 30 chilogrammi
con tale velocità da spingerla sino all'altezza di 300
metri, potremo assegnare quanta energia possedesse
la palla nell'atto della scarica. Quest'energia essendo
atta a sollevare 30 chilogrammi all'altezza di 300 me-
tri, l'energia stessa varrà a produrre un lavoro eguale
a 30×300 ossia 9000 chilogrammetri.

Se poi porremo nel cannone una maggiore carica
di polvere, potremo ottenere che la palla ne esca fuori
con una maggiore velocità. Supponiamo che la palla
stessa possa ora levarsi a 500 metri, essa avrà dunque
una energia capace di produrre un lavoro eguale a
$30 \times 500 = 15.000$ chilogrammetri. Insomma quant'è
più grande la velocità o rapidità colla quale la palla è
spinta fuori, maggiore è l'altezza alla quale essa giunge,
maggiore il lavoro che essa fa, e quindi maggiore l'e-
nergia che essa possiede.

43. Lavoro fatto di un corpo in moto. — Io
non posso entrar qui leggermente nel soggetto; ma

pur dirò che un corpo spinto all' insù con una velocità doppia, si leverà ad un' altezza non già *doppia*, ma *quadrupla* di quella cui sarebbesi elevato colla velocità *uno*; e che un corpo spinto con una velocità tripla, si innalzerà ad un' altezza non solo *tripla*, ma tre volte tripla, cioè *nonupla*. Così accade che una palla da cannone, mossa con una velocità doppia, sarà capace di produrre un lavoro quadruplo.

Ma vi sono altri mezzi per misurare il lavoro di una palla da cannone, oltre quello di vedere a quale altezza essa possa elevarsi nell'aria. Possiamo spingere la palla contro un certo numero di tavole di legno, eguali tra loro e poste a contatto, le une serrate colle altre, e troveremo che una palla, spinta con una velocità doppia di un' altra, perforerà circa quattro volte più tavole dell' altra, e che una palla, avente una velocità tripla, attraverserà un numero di tavole nove volte quello attraversato dalla palla avente la velocità uno; e così via. Quindi una palla avente una velocità due, può esercitare un' azione distruttiva quattro volte maggiore di quella prodotta colla velocità uno; ed invero, in qualsiasi modo misuriamo la sua energia, avremo sempre una misura quattro volte maggiore dell' altra.

44. Energia di posizione. — È ben facile convincersi che un corpo in moto abbia il potere di compiere una certa quantità di lavoro. Tuttavia spesse volte abbiamo energia in corpi quieti: del pari che una persona può stare tranquilla, ed esser capace di produrre una gran quantità di lavoro, quando essa ci si metta.

Prendiamo a considerare due uomini, ugualmente vigorosi, i quali combattono tra loro, provveduti entrambi di un mucchio di pietre, che essi lanciansi l' un contro

l'altro. Però uno di essi sta col suo mucchio di pietre in cima d'una torre, mentre l'altro se ne sta col proprio mucchio in basso. Io non vi chiedo quale dei due possa più facilmente vincere la lotta, giacchè subito risponderete: l'uomo che sta in cima della torre. Ora qual vantaggio ha egli? Egli non è nè più poderoso nè più energico dell'altro; il suo vantaggio ei dunque lo deve alla posizione delle sue pietre, poichè il suo mucchio sta in alto.

Per sè stesso egli non ha più energia della persona che sta giù, ma le sue pietre hanno maggiore energia di quella che abbiano le pietre dell'altro che sta al fondo; cosicchè le prime hanno l'energia del trovarsi nell'alta posizione cui furono portate. Ed infatti esse sono capaci di produrre da loro un lavoro, mentre egli non deve fare alcun sforzo per lanciarle all'ingiù: cioè le sue pietre sono in condizione più appropriata per abbattere la persona che gli sta sotto, mercè l'energia che esse acquistano colla caduta, e che sarà equivalente a quella che dianzi si sarà spesa, per compiere il lavoro di sollevarle ed ammucchiarle lassù.

Supponiamo poi due mulini ad acqua, uno avente presso di sè un largo bacino o stagno di acqua ad un alto livello, mentre l'altro ha vicino uno stagno ad un livello, più basso di quello del mulino. Quale di questi mulini sarà atto al lavoro? Voi subito mi direte, quello che ha l'acqua ad alto livello, giacchè la caduta dell'acqua potrà sospingere e mantenere in moto la ruota. Quindi col bacino d'aqua elevato, si può compiere molto lavoro; ossia con una *caduta d'acqua*, come la si suol chiamare, si può produrre un utile lavoro, qual'è quello di trebbiare il grano o di macinarlo, oppure di segare il legno o di tornirlo. Dall'altra parte, non è pos-

sibile trarre qualsiasi lavoro da uno stagno d'acqua, che si trovi più basso del mulino stesso.

Paragoniamo ora un mulino ad acqua, mosso da una cascata d'acqua, con un mulino ad aria, mosso dal vento. Quest'ultimo è simile alla palla da cannone, la quale non può moversi per sè, e la cui energia non può essere altra fuor quella di un corpo in moto attuale. Ed è infatti il vento che, spingendosi contro le ali del mulino ad aria e forzandole a girare, può solo farlo operare; in egual modo che, gittando una penna od una paglia nel mezzo d'una corrente d'aria, vediamo che esse son portate via dal vento.

Ma un mulino ad acqua ha un notevole vantaggio su quello ad aria, perchè in quest'ultimo dobbiamo aspettare che il vento soffii, mentre nel mulino ad acqua, con una buona altezza di caduta, possiamo spinger con forza l'acqua contro la ruota, quando ci piace; ossia possiamo conservare il nostro capitale di energia, per usarne in ogni caso ce ne venga il desiderio.

Imperocchè l'energia di un corpo in moto è simile al denaro corrente che stiamo spendendo; mentre l'energia di una caduta d'acqua, o di un corpo che tiene un'alta posizione, è simile al denaro deposto in una banca, che noi possiam trar fuori quando ce ne venga bisogno.

CORPI IN VIBRAZIONE.

45. Suono. — Un corpo che cambia di posto è certo in moto; ma da ciò non segue che ogni corpo in moto cambi di posto nel suo insieme. Un disco che ruoti at-

torno ad un punto fisso è certamente in moto, eppure esso, nel suo insieme, non muta di posto.

Esperienza 33.ª — Eccovi una verghetta, che è fissa ad un sostegno pel suo capo inferiore: spostiamone alcun po' l'estremo superiore e tosto abbandoniamolo; esso andrà movendosi rapidamente innanzi ed indietro, senza che la verghetta cangi posto. Quando le particelle di questa verghetta si muovono di tal modo, alternando continuamente il verso del movimento, or in avanti or in addietro, e ad eguali intervalli di tempo, si dice che le particelle stesse sono in istato di *vibrazione*.

Fig. 20.

Similmente una campana od un tamburo, mediante una percossa, assumono lo stato di vibrazione. E così ancora una corda d'uno stromento musicale, pizzicata ed abbandonata, entra in istato di vibrazione.

Ora il moto di vibrazione, al pari del moto da luogo a luogo, indica un'energia: ed invero le particelle del corpo vibrante si muovono attivamente da uno ad altro posto. Se poi tentate di fermarle, esse produrranno su voi un urto sensibile, e così urtano ogni cosa che incontrano nel loro cammino; quindi l'aria atmosferica, che circonda il corpo vibrante, riceverà da esse una serie di urti, a intervalli eguali di tempo; però quando l'estremo della verghetta si muove in un verso, essa dà all'aria un urto nella medesima direzione e nel medesimo senso; ed altrettanto farà di poi, quando esso si muoverà in verso opposto; laonde un corpo vibrante, in un breve tempo, darà un gran numero di piccoli urti all'aria, di verso alternativamente opposto; e l'aria così colpita non può starsene indifferente; essa colpirà simil-

mente l'aria vicina e questa ancora, alla sua volta, al-
tr'aria, e così via: talchè ogni colpo, dato direttamente
all'aria dal corpo vibrante, vien trasportato ad una
grande distanza, insino a giungere al vostro orecchio
od al mio. Però questa serie di colpi non produce su di
noi una sensazione simile a quella che ci darebbe un
urto od una percossa, e perciò non lo chiamiamo un
colpo, ma diciamo che *un suono ha colpito il nostro
orecchio*, ed infatti udiamo un suono.

46. Che sia un rumore e che un suono musi-
cale. — Se i corpi che percuotono l'aria producono
appena un sol colpo, come quando si esplode un can-
none, l'aria trasporta questo colpo al nostro orecchio,
ed allora diciamo di sentire un *rumore*. Se invece il
corpo che percuote l'aria è in vibrazione, e produce
buon numero di piccoli colpi in un secondo, l'aria, che
li trasporta tutti, dà appunto in un secondo molti colpi
nel nostro orecchio, ed allora diciamo di udire un suono
musicale. Vedete quindi che *un rumore è un forte ed
unico colpo dato all'orecchio, ed un suono musicale è una
serie di piccoli colpi o di vibrazioni che si succedono con
regolari intervalli.*

Inoltre, se il corpo vibrante, che origina questi spo-
stamenti, produce nell'aria soltanto un piccol numero
di vibrazioni in un secondo, e questi vengono trasmessi
al nostro orecchio, noi udiamo allora una *nota profonda
o grave*; che se il corpo vibrante genera nell'aria, nel
tempo stesso, un gran numero di vibrazioni che giun-
gono al nostro udito, noi percepiamo una *nota alta od
acuta*. Adunque *una nota grave significa un piccol nu-
mero di colpi dati in un secondo al nostro orecchio, men-
tre una nota acuta significa un gran numero di colpi
prodotti nello stesso tempo*. Una nota acutissima corri-

sponde a circa 20,000 colpi in un secondo, mentre una nota estremamente bassa dà, nello stesso tempo, appena un 50 colpi all' incirca.

47. Il suono può fare un lavoro. — Una nota musicale è piacevole, laddove un rumore od un colpo forte ed isolato è sgradevole, e talvolta questi colpi guastano l' udito, ove siano violentissimi. Così, scaricando un grosso cannone, il colpo dato alle orecchie, in qualche caso, toglie l' udito; e talora l'impeto dell'onda sonora suscitata nell' aria battendo contro una lastra di vetro, può produrvi così forte concussione da spezzarla. In alcuni casi, come nella esplosione di un magazzino di polveri, tutti i vetri delle finestre dei fabbricati vicini sono ridotti in pezzi. Vedete adunque che un forte rumore porta con sè un'energia, e può compiere un lavoro, ma specialmente un lavoro di distruzione.

48. Il suono abbisogna dell' aria per essere trasportato. *Esperienza* 34.ª — Prendiamo una soneria, cioè una campanella metallica, percossa ripetutamente da un martelletto mosso da un elastro, e poniamola sotto una campana, dalla quale si estrae poi l'aria mercè la macchina pneumatica. Osserviamo che, sebbene la campanella continui ad essere percossa allo stesso modo, al nostro udito giungono sempre più affievoliti i colpi di martello, mano mano diminuisce la quantità d'aria residua nella campana; anzi, da ultimo, i colpi stessi non producono più su di noi una distinta sensazione di suono.

Non essendovi aria, non vi è nulla che possa essere colpito dalle particelle della campanella vibrante, e perciò nessun colpo vien recato all' orecchio; laonde una campana che sia stata percossa da un altro corpo vibrante ha in sè una quantità di energia, una parte

della quale essa comunica all'aria, mentre l'aria alla sua volta ne fa parte all'udito. Ma, se non v'è aria, non v'è nulla che trasporti all'udito nostro l'energia del corpo vibrante.

49. Modo di movimento del suono attraverso l'aria. — Voglio ora dirvi qualche cosa sulla natura di quel movimento che chiamiamo suono, il quale è trasmesso all'aria dai corpi vibranti, e che l'aria stessa trasporta a grandi distanze.

Innanzi tutto non dovete supporre che quando un cannone viene scaricato alla distanza di qualche chilometro, le stesse particelle d'aria percorrano tutto lo spazio interposto fra il cannone ed il nostro udito; le particelle che toccano il cannone danno un colpo alle contigue, e per sè si riducon ferme, mentre quelle che ricevettero il colpo vanno a colpir altre ad esse vicine, ed allora pur esse si fermano, e così via, finchè il corpo giunge al nostro orecchio. Col seguente esperimento procurerò di mostrarvi come ciò accade.

Esperienza 35.ª — Prendiamo una serie di palle elastiche sospese, per separati fili, in modo da avere i loro centri allineati e da toccarsi appena l'una coll'altra. Sollevate una delle palle che sta ad uno dei capi della serie, e abbandonatela: essa va a colpire la seconda. Che ne accade? La prima palla, appena dato il suo colpo alla seconda, si riduce ferma; la seconda trasmette il colpo alla terza, e riman pur ferma; la terza fa lo stesso: finchè l'impulso giunge all'ultima palla della serie, la quale, non trovandone altra da colpire, si muove effettivamente pel colpo da essa avuto. Ora la prima palla può paragonarsi alle particelle d'aria che toccano il cannone, e l'ultima palla a quell'altre particelle che toccano l'orecchio; epperò ve-

dete che il colpo dato dal cannone all' aria vicina vien trasmesso all'aria contigua all'orecchio, senza che

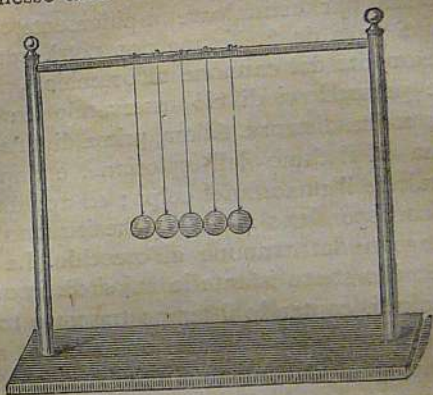



Fig. 21.

siavi necessità che le stesse individue particelle d'aria si muovano, trascorrendo tutta la distanza per trasportare il suono.

Se alcuno di voi conosce il giuoco detto della ciambella, avrà imparato come contenersi quando vuol respingere la palla dell'avversario. In questo caso voi tenete la vostra palla ben ferma sotto il vostro piede, nell'atto appunto in cui è toccata da quella del vostro avversario, e con opportuna spinta del tallone, imprimete un colpo alla vostra palla, la quale non si muove punto, ma trasmette il colpo a quella dell'avversario, con forza bastevole a spingerla molto lungi. Abbiam qui adunque un risultato simile a quello della serie di palle.

50. Velocità di moto del suono. — Queste impulsioni o questi urti ripetuti ed alterni dei corpi vi-

branti, che chiamiamo suono, richiedono tempo per propagarsi dal cannone all'orecchio. Senza dubbio il suono potrà pur camminare rapidamente, al modo che fa una palla da fucile, ma non potrà comunicarsi istantaneamente dal cannone all'orecchio.

Potete persuadervi di ciò osservando un cannone esploso a molta distanza. Allora, prima di tutto, vedrete la fiamma ed il fumo dell' esplosione, e dopo alcuni secondi udrete il rumore del colpo; ed appunto questi secondi corrispondono al tempo che il suono impiega per propagarsi dal cannone all'orecchio. La fiamma la vedete nello stesso istante in cui si dà fuoco al cannone, e quindi, contando il tempo trascorso tra questa sensazione luminosa e la sensazione sonora, avrete il tempo impiegato dal suono a compiere un tal cammino. Se, per esempio, il cannone fosse lontano un chilometro e voi contaste 3 secondi fra la fiamma ed il rumore, direte che il suono impiegò 3" a percorrere questi 1000 metri nell' aria, ossia che esso si muove colla velocità di 333 metri al secondo. Questa misura appunto corrisponde a quanto l'esperienza ha riconosciuto per l' aria atmosferica, a temperature prossime allo 0°.

Il suono si trasmette altresì attraverso l'acqua. Anzi per essa si propaga con una rapidità maggiore che attraverso l'aria. Alcuni esperimenti fatti sul lago di Ginevra dimostrarono che la velocità di propagazione del suono nell'acqua è più di quattro volte maggiore che nell' aria.

Anche i solidi, come il legno ed il ferro, trasmettono il suono e con grande rapidità. Nel legno, ad esempio, la velocità di propagazione è fra 10 a 16 volte maggiore che nell'aria, per modo che, se fosse

dato avere una trave di legno d'abete lunga circa cinque chilometri, essa sarebbe percorsa tutta dal suono in un solo minuto secondo di tempo.

51. Eco. — Supponiamo che io mi trovassi nel centro di un grande spazio, circondato da alte roccie, disposte regolarmente a guisa di un grande anfiteatro naturale, e che da tal punto centrale esplodessi un'arma da fuoco; il rumore od impulso sonoro propagherebbesi, per mezzo dell'aria, dall' arma esplosa alle circostanti roccie e le perquoterebbe. Or qualche cosa ascolterò ancor dopo. Quando il suono giunge ad urtare le roccie, non potendo procedere oltre, viene spinto addietro, ed in questo caso particolare esso retrocede per la stessa linea che seguì dianzi, sempre camminando nella ragione di 333 metri al secondo. Ne conseguirà che, pochi secondi dopo l'esplosione, io udirò il suono rimandato indietro dalle roccie, come se di là fosse avvenuta un'altra esplosione. Ora questo suono di ritorno è chiamato *Eco.*

Nel caso di una eco abbiamo dunque il suono od un rumore, il quale, nrtando un ostacolo viene da questo riflesso in addietro. Ma non sempre accade che il cammino di ritorno sia nella stessa direzione di quello d'andata; ciò dipende dalla forma della superficie contro la quale urta l' onda aerea sonora.

Esperienza 36.ª — Un curioso esperimento è quello che vi mostro nella seguente figura. Ponete due specchi sferici di ottone a qualche distanza l'uno dall'altro, e nel punto chiamato *foco* dell' uno ponete un oriuolo, mentre voi collocherete il vostro orecchio nel foco dell'altro. Di là udrete distintamente i battiti dell' orologio, che non distinguereste anche recando l'orecchio più vicino al primo specchio. Eccone la ragione. Le

impulsioni date all'aria dall'orologio battono contro la faccia interna del corrispondente specchio, di là

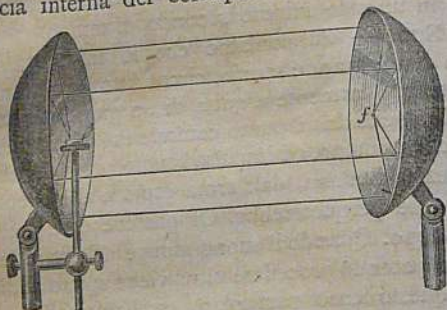



Fig. 22.

vengono tutte riflesse in tal direzione da recarsi sull'altro specchio, dal quale poi sono analogamente tutte riflesse ed avviate al vostro orecchio posto nel foco di esso.

Questa proprietà del suono ci diede qui una graziosa esperienza, ma talvolta produce anche alcuni inconvenienti; per esempio, si racconta che nella cattedrale di Girgenti, in Sicilia, v'è un punto, vicino alla porta occidentale, da dove il più leggier bisbiglio è trasportato e riprodotto in altro punto vicino all'altare maggiore. Ora, inavvertitamente, nel primo di questi punti erasi collocato un confessionale: accadeva quindi che una persona situata nell'altro udiva spesso cose che dovevano restar segrete, finchè, riconosciuto l'inconveniente, il confessionale venne mutato di luogo.

La riflessione del suono spiega altresì ciò che accade nelle gallerie parlanti. In quella di San Paolo in Londra, per esempio, le parole pronunciate da un lato della cupola sono trasportate al lato opposto ad una

notevole distanza. Tal altra volta la particolare disposizione delle pareti di uno o più fabbricati, può far luogo ad una eco multipla: cioè, producendo un forte rumore, come un colpo di pistola, vien questo udito ripetersi più volte, per riflessioni successive. Così accade presso un vasto fabbricato, detto la Simonetta, poco lungi da Milano.

52. Come si trova il numero delle vibrazioni in un secondo corrispondenti ad una data nota. — Vi dissi già che quando un corpo vibrante dà all'aria un piccol numero di colpi in un secondo abbiamo una nota grave, e che l'abbiamo invece acuta quando l'aria riceve nello stesso tempo un maggior numero di urti (art. 46). Ora ciò che si chiama *altezza* o *tono* d'una nota dipende dal numero di colpi dati all'aria in un secondo. Possiamo anzi mostrare con un esperimento come ad ogni particolar nota corrisponde un dato numero di urti. Però spero, coll'aiuto della seguente figura 23ª, di schiarirvi questa cosa.

Esperienza 37.ª — Eccovi una larga ruota, *A*, che può farsi girare con una manovella. Sulla circonferenza o gola di questa ruota, scorre una forte correggia, che passa sull'asse di un'altra ruota *B*.

Per la tensione della correggia, l'asse della ruota *B* farà un gran numero di giri nel tempo in cui la ruota *A* fa un solo giro, e quindi la ruota *B* stessa ruoterà molto rapidamente, con una velocità corrispondente a quella del suo asse. Vedete pure che il contorno della ruota *B* è tutto irto di piccoli denti. Ora, se un sottil cartoncino vien posto in *E* contro i denti di *B*, ognuno di questi percuoterà il cartoncino nel suo passaggio. Nello stesso tempo il cartoncino, così percosso, ci

fa udire un suono, poichè i suoi urti regolari ci son trasmessi attraverso l'aria.

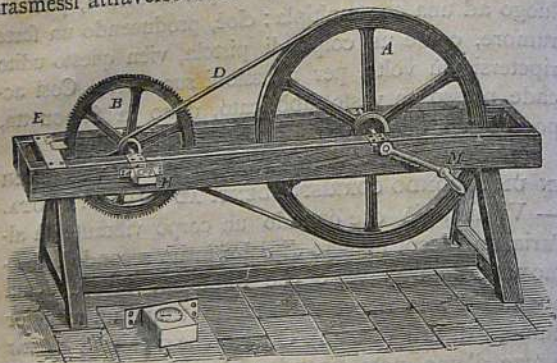



Fig. 23.

Se, ad esempio, la ruota *B* conta 100 denti, saranno dati all'aria 100 colpi nel tempo in cui essa fa un giro: e se *B* fa un giro al secondo, 100 colpi saranno dati all'aria, e quindi 100 suoni percuoteranno in un secondo il nostro orecchio. Ma, non potendo noi percepire distintamente ognuno di questi suoni, udiremo una nota grave, apparentemente continua.

Ora, col girare rapidamente la manovella, si può ottenere che la ruota *B* faccia 100 giri in un secondo, percuotendo quindi la carta 100 volte ogni giro. In questo caso la carta sarà percossa 100 volte 100, ossia 10,000 volte in un secondo, e quindi 10,000 impulsi colpiranno il nostro orecchio in un secondo, ed avremo una nota alta e continua.

Qualora voi vogliate trovare il numero di colpi in un secondo, corrispondenti ad una data nota, dovete far così. Girate la manovella, grado a grado più rapi-

damente, finchè l'istrumento, col mezzo della carta, vi dia appunto una nota della medesima altezza di quella che desiderate misurare, e quando avete così trovata la conveniente velocità, continuate a girare la manovella al modo stesso, almeno per un minuto, o più. Colla ruota *B* sta congiunto un quadrante, il quale è disegnato separatamente, in maggior scala, al disotto dell'apparecchio: codesto quadrante registra quante volte la carta vien battuta, nel mentre continuate per un dato tempo il movimento di rotazione.

Ebbene, intanto che fate girare la manovella colla velocità richiesta per una data nota, vuolsi che altra persona osservi la posizione dell'indice del quadrante al principio ed al fine di un minuto primo. Supponete che trovi essere stata la carta percossa 60,000 volte durante questo tempo, voi direte che ciò corrisponde a 1000 colpi per secondo, e quindi direte che la nota prodotta è quella che corrisponde a 1000 impulsi dati all'aria in un secondo.

CORPI CALDI.

53. NATURA DEL CALORE. — Vedemmo sopra che un corpo in moto attuale possiede un'energia, e che lo stesso può dirsi di un corpo in vibrazione. Notammo pure che un corpo può vibrare senza punto cangiare di luogo; giacchè, nel suo insieme, esso riman fermo, sebbene le singole sue particelle abbiano un moto alternativo di va e vieni.

Consideriamo ora i corpi in istato di scaldamento. Ma, prima, domanderete cosa sia il calore. Per ora

risponderò colla seguente osservazione. Una palla di ghisa, fatta scaldare nel fuoco sino all'incandescenza, è collocata sul guscio di una bilancia, accuratamente contrappesata, ed è poi lasciata raffreddarsi spontaneamente. Se il calore fosse qualche cosa che entrasse nella palla, dovrebb'essa, col successivo raffreddamento, rendersi sempre più leggiera. Invece questo esperimento, eseguito con tutta cura, mostra che la palla di ghisa non perde affatto di peso nel raffreddarsi. Pertanto qualunque cosa sia il calore, la sua presenza non accresce la gravità della palla del minimo dei pesi.

Poniamo che io stesso mi collocassi sopra una precisa bilancia, e che mentre vi sto con un esatto contrappeso, entrasse qualche goccia d'acqua nelle mie orecchie; ciò basterebbe a rendermi più pesante di prima. Supponete invece che per le mie orecchie entri un suono. Questo suono mi renderà più pesante? Per nulla affatto. Esso percuote ciò che chiamasi il *timpano* delle mie orecchie, e lo pone in vibrazione, ed io ascolto un suono: ma io non sarò menomamente divenuto più grave per questo accedere del suono nelle mie orecchie. Infatti, mentre il sopraggiungere dell'acqua nelle orecchie è un vero accrescimento di materia che mi rende più grave, il sopraggiunger del suono è puramente la provocazione di un moto vibratorio, che non accresce il mio peso. Ora nello scaldarsi dei corpi produrrebbesi forse qualche cosa di questo genere? L'accedere del calore significherebbe forse lo eccitarsi ne' corpi di una specie di vibrazione o di un moto di va e vieni, il quale nulla aggiungerebbe al peso dei corpi?

Noi abbiamo forti ragioni per ritenere che il calore sia realmente una specie di moto vibratorio: cosicchè

quando un corpo è scaldato, ogni minima sua particella concepirebbe un moto alternativo di va e vieni, oppure un moto giratorio. Ma queste particelle sono così piccole ed il loro moto è così rapido, che gli occhi nostri non han modo di vedere ciò che in essi realmente accade.

Forse voi direte, se così fosse, non dovrebbero i corpi caldi produrre un suono, da che le loro particelle, trovandosi in uno stato di rapido movimento vibratorio, dovrebbero suscitare una serie di piccoli impulsi nell'aria che li circonda, appunto come fa un corpo in atto di ordinaria vibrazione? Vi risponderò che bensì il corpo caldo dà una serie di impulsi al mezzo che lo circonda, i quali però sono tali che non impressionano l'*orecchio*, ma impressionano invece l'*occhio*, e ci danno la sensazione della luce.

Avremmo così una grande somiglianza fra un corpo che suona, qual'è una campana, ed un corpo caldo, qual'è la palla scaldata all'incandescenza. Le particelle di entrambi questi corpi sono in uno stato di rapido movimento: quelle della campana percuotono l'aria che la circonda, e l'aria trasporta i suoni al nostro udito. Le particelle della palla calda producono una successione di urti nel mezzo che la circonda, e questo li trasporta al nostro occhio. Perciò quando esperimentiamo su' corpi vibranti usiamo l'orecchio, e quando sperimentiamo su' corpi fortemente scaldati usiamo l'occhio. Ed in ciascun caso la indagine si divide in due parti. Pei corpi vibranti abbiam prima lo studio dei corpi stessi, cioè: come accade che vibrino? in che modo essi vibrano? e così via. E d'altra parte abbiamo lo studio della velocità colla quale il suono si trasporta per mezzo dell'aria. Similmente, nel caso dei

corpi caldi, dobbiam prima studiare i corpi caldi in loro stessi, e le modificazioni che essi subiscono scaldandosi; ed in secondo luogo dobbiam studiare come procedano i raggi di luce e di calore, i quali trasportano l'impressione attraverso lo spazio.

54. Espansione dei corpi nello scaldarsi. — Un corpo quando si scalda, sempre in pari tempo si espande, cioè si dilata in ogni sua parte. E ciò accade tanto nello scaldare un solido, quanto un liquido, od un gas, siccome ora vi proverò.

Esperienza 38.ª — Prendiamo una lunga asta metallica, fissata stabilmente pel suo capo *B* col mezzo

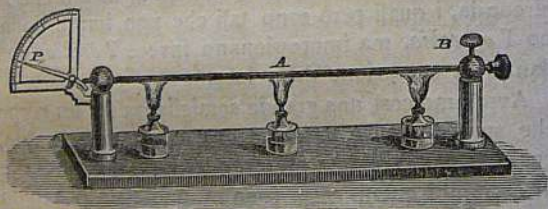



Fig. 24.

di una vite, l'altro capo è libero di estendersi, ma nel far ciò preme contro un indice *P*, il quale si innalza. Pertanto, se l'asta si dilata anche di poco, la variazione nella sua lunghezza si renderà facilmente visibile cogli spostamenti dell' indice. Ponendo poi due o tre lucernette ad alcole al disotto dell'asta, così da scaldarla in più punti, vedremo che appunto l' asta si allunga e fa alzare l'indice. Indi, ritirando le lucerne, l'asta si raffredda e si accorcia, ed in pochi minuti l'indice retrocederà alla sua prima posizione.

Esperienza 39.ª — Eccovi una bolla di vetro, piena

d'acqua, alla quale va unito un lungo cannello: scaldando la bolla, l'acqua salirà su pel tubo. Ma in questo caso si dilatano così la bolla di vetro, come l'acqua; però l'acqua espandendosi più del vetro, colla eccedenza della propria dilatazione, si spingerà nel cannello, e lo farà con tal forza che, se per caso il cannello fosse superiormente chiuso, potrebbe l'acqua crescer tanto da spezzare la bolla.

Esperienza 40.ª — Per variare il precedente esperimento, prendiamo una vescica, piena d'aria per circa due terzi della sua capacità, e scaldiamola al disopra del fuoco, facendola girare così che non bruci. In breve l'aria si espanderà di tanto che la vescica apparirà piena.

55. Termometri. — Le precedenti esperienze vi provano che il calore tende ad espandere i corpi, qualunque sia il loro stato, solido, liquido o gasoso.

Consideriamo ora particolarmente il mercurio contenuto in una bolla di vetro. Esso, in simil modo dell'acqua di poc'anzi, collo scaldarlo, si espanderà e si spingerà su per l'annesso cannello. Ancor qui sonvi in realtà due cose che si dilatano. Dapprima si espande la bolla; cosicchè se misuraste esattamente il volume di essa, quando è fredda e quando è calda, trovereste esser quest'ultimo un po' maggiore. Però la bolla si dilata meno del mercurio, ed in conseguenza il mercurio, non potendo star tutto nello spazio dapprima occupato, passerà in parte nel cannello, e questo avendo un vano molto fine, farà sì che una espansione pur piccola del mercurio produrrà un notevole spostamento di questo entro il cannello, così da rendersi sensibile alla vista. Infatti il solo scaldamento prodotto dalla mia mano applicata alla bolla, spinge

rapidamente il mercurio su pel cannello, ed invece un semplice soffio d'aria fredda lo fa discendere.

Un istromento di questa fatta è quindi molto comodo per dirci quando una cosa sia più calda o più fredda di un'altra. Anzi vedremo poi che esso è in ciò giudice migliore che nol sia il nostro senso del tatto (pag. 80).

Immergiamo, ad esempio, la bolla di questo stromento nell'acqua contenuta in un vaso, e lasciamovela alcuni minuti; l'estremità della colonnetta di mercurio si ridurrà in breve in tal posizione che serberà di poi; facciamo allora un segno in corrispondenza a questa posizione. Togliamo lo stromento da quel vaso e portiamolo in un altro, contenente pure dell' acqua. Se questa è più calda della prima, il mercurio sorgerà al disopra del segno tracciato, che è quanto dire, l'estremo della sua colonnetta sarà ora più alto: se invece quest' altra acqua è più fredda della prima, il mercurio scenderà al disotto della traccia fatta. E perciò, osservando l' altezza del mercurio nel cannello, possiam dire se il secondo vaso di acqua sia più caldo o più freddo del primo.

Un istromento così fatto è chiamato *termometro*. Ora vi dirò come lo si prepari.

56. Come si costruisca un termometro. — Per fare un termometro si prende un cannello di vetro col vano sottile, e si soffia una bolla cava all'estremo di esso, lasciandone aperto l' altro estremo verso l' aria. Scaldando questa bolla su di una fiamma, l'aria contenutavi si espande ed esce in parte dall' estremo aperto del cannello: se di subito si tuffa questo estremo sotto la superficie del mercurio posto in un vaso, l'aria rimasta nella bolla, raffreddandosi, si ridurrà ad un mi-

nor volume, e quindi la pressione dell'aria esterna spingerà su pel cannello il mercurio ad occupare il posto lasciato dall'aria escita collo scaldamento, appunto come vedemmo accadere per una tromba (art. 39).

Una parte adunque di questo mercurio si sarà spinto nella bolla. Avremo così in questa un po' di mercurio, che faremo di poi scaldare in un colla bolla su la fiamma di una lampada. Il mercurio comincierà presto a bollire, ed il suo vapore caccerà fuori l'aria, finchè tanto la bolla quanto il tubo conterranno solo vapori di mercurio. Allora, immergendo di nuovo l'estremo aperto del cannello nel mercurio, il vapore di questo si condenserà rapidamente col raffreddarsi, e formerà un vuoto, a riempiere il quale entrerà il mercurio, sempre sospinto dalla pressione dell'aria esterna. Di poi, innanzichè il mercurio si raffreddi, suggelliamo l'estremo del cannello, fondendo il vetro col calore, ed impediamo così che l'aria vi entri.

Ciò fatto, poniamo la bolla e parte del cannello in un vaso contenente ghiaccio in via di fusione. La colonna di mercurio discenderà ancora nel cannello, e quand'essa si sarà resa stazionaria, segniamo sul tubo con un tratto la posizione dell'estremo della colonnetta medesima. Questa sarà la posizione cui si ridurrà la colonna tutte le volte che lo stromento sarà posto nel ghiaccio fondentesi, o in altro corpo che abbia lo stesso grado di freddo. Immergiamo di poi la bolla e parte del tubo nell'acqua bollente, e segniamo ancor qui il punto occupato dall'estremità della colonna, quando si sarà resa stazionaria, dopo essersi elevata di molto per l'espansione del mercurio dovuta allo scaldamento dell'acqua.

I due segni, fatti così sul cannello, si chiamano punti

fondamentali della graduazione, e si contrassegnano collo 0° quello corrispondente al punto di fusione del ghiaccio, e col 100° quello corrispondente al punto d'ebollizione dell'acqua. Poco innanzi imparerete che il calore dell'acqua bollente non è affatto costante, ma pel momento lo supporremo tale.

Ora rimane soltanto che si divida la distanza tra questi due punti in 100 parti eguali, ciascuna delle quali chiamasi *grado*, e corrisponde ad una variazione di temperatura di un centesimo della differenza tra le due temperature fondamentali. Laonde questo termometro è chiamato *centigrado*. Convien però riportare sul cannello, al disotto dello 0°, altre divisioni, di grandezza eguale alle precedenti, affinchè lo stromento valga ad indicare altresì le temperature inferiori a quella dello sgelo dell'acqua.

Fig. 25.

Quanto vi ho qui esposto su la graduazione di un termometro, può giovarvi anche per riconoscere se il termometro che usate segni giusto, poichè, coprendone il bulbo per bene con ghiaccio sminuzzato o con neve che si fondano, esso deve segnar 0°. E, se porta intera la scala, dovrebbe segnar 100°, involgendolo tutto nel vapore che sorge dall'acqua bollente.

Su questa scala termometrica i massimi calori estivi, per le nostre regioni, cadono fra i 30° ed i 37°, sempre però tenendo il termometro difeso dal sole; ed i maggiori freddi notturni nel verno cadono fra i 10° ed i 15° inferiori allo zero. La temperatura del corpo umano, in istato di salute, si mantiene tra i 36° ed i $37^\circ, 5$

Insomma questo strumento ci porge un mezzo molto squisito per misurare la *temperatura* dei corpi, cioè la varia energia colla quale i corpi, differentemente caldi, possono spinger calore gli uni negli altri, mettendoli a contatto.

57. Dilatazione dei solidi. — Con un metodo simile a quello dell'esperienza 38ª, ma più assai accurato, si può non solo riconoscere che le diverse sostanze solide si dilatano differentemente per uno stesso aumento di temperatura, ma altresì determinare di quanto ciascun solido si dilati. Eccovi i risultati di accurate sperienze su questo proposito. Son qui indicate le dilatazioni prodotte in diversi solidi, foggiati a guisa di aste cilindriche, scaldandole dal punto di sgelo al punto d'ebollizione dell'acqua, cioè tra lo 0° e 100° del termometro, ritenendo che la lunghezza primitiva di esse (a 0°) fosse giustamente di un metro.

	Dilatazione da 0° a 100° per un'asta lunga metri 1,0 a 0°.
Vetro	millim. 0,85
Platino	» 0,87
Ferro incrudito	» 1,09
id. dolce	» 1,22
Acciajo, non temperato .	» 1,11
Oro	» 1,44
Rame	» 1,72
Ottone	» 1,87
Argento	» 2,00
Stagno	» 2,20
Piombo.	» 2,86
Zinco	» 2,98

58. Dilatazione dei liquidi. — I liquidi si espandono più dei solidi coll'aumentarne la temperatura, ma

non possiamo sperimentare su di essi nel modo usato pei solidi. Bisogna prenderne una precisa misura, p. es. un litro, e determinare qual sia il volume del liquido che trabocca da esso, supposto esattamente pieno al punto di sgelo, e scaldandolo sino al punto d'ebollizione dell'acqua, tenuto però conto dell'aumento di capacità del recipiente. Esperimentando con metodi di massima precisione, si trovò che un litro di mercurio a 0°, scaldato poi sino a 100°, presenta il volume di 1,01815 litri: laddove l'acqua, similmente scaldata, subisce una più sentita espansione, passando da un litro a litri 1,04312.

Da queste ed analoghe esperienze si deduce, che, per un dato aumento di temperatura, i liquidi si espandono più dei solidi, e che i liquidi si rendono maggiormente dilatabili coll'aumentare della temperatura.

59. Espansione dei gas. — I gas si espandono per opera del calore, e la loro dilatazione è rilevante; ma qui noi dobbiamo por mente ad altra cosa, che ha pur influenza sul far espandere i gas. Ricordatevi della palla di gomma elastica posta sotto la campana, la quale si espandeva quando estraevasi l'aria dal recipiente (esp. 25ª). Quindi se vogliam vedere di quanto si espanda un dato gas collo scaldamento, dobbiamo aver cura che l'aria circostante non cangi di pressione.

A modo di esempio, immaginiamo d'avere una vescica contenente un dato volume d'aria, e cerchiamo di quanto questa si espanda, rimanendo sempre la vescica in contatto dell'aria libera esterna — cioè sotto la costante pressione dell'atmosfera — e scaldando l'aria interna cautamente dal punto di sgelo sino a quello di ebollizione dell'acqua.

Operando in un modo analogo á questo, ma su-

scettivo di precise misure, si trova che una massa d'aria secca la quale alla temperatura di fusione del ghiaccio presenti il volume di 1,0 litro, alla temperatura di ebollizione dell'acqua presenta il volume di litri 1,367, cioè si dilata di oltre un terzo di litro.

60. Osservazioni sull'espansione. — I liquidi ed i solidi si espandono con forza grandissima. Empiendo di acqua una palla cava e serratane l'apertura col mezzo di una vite, indi facendo scaldare di molto la palla, la forza di espansione dell' acqua potrà giungere a spezzarla.

Nel costruire un gran ponte tubulare in ferro bisogna far in modo che il ferro stesso abbia agio di espandersi, poichè nel cuor dell'estate il ponte sarà alcun po' più lungo che nel mezzo del verno, e se esso non avesse spazio per allungarsi, colla sua forza di espansione metterebbe a pericolo la stabilità del ponte. Tale precauzione si è usata nel costruire il gran ponte tubulare di Menai.

In parecchi casi noi utilizziamo questa forza di espansione e di contrazione dei corpi. Per esempio, nel fabbricare le ruote dei carri, il cerchio di ferro col quale le si vogliono serrare, vien prima fatto arroventare, ed in tale stato è applicato a forza sul contorno della ruota; allora il cerchio stesso, rapidamente raffreddantosi, si contrae e stringe molto fermamente tra di loro le varie parti della ruota.

61. Calore specifico. — A far crescere la temperatura di un grado in taluni corpi richiedesi una quantità di calore maggiore di quella voluta per far ciò in altri corpi, benchè abbian tutti un egual peso. La quantità di calore voluta a scaldare di un grado l'unità di peso di una sostanza è chiamata *calore specifico* della sostanza stessa.

L'acqua ha un calore specifico ben notevole, talchè, per essere scaldata di un grado, richiede maggior calore che ogni altra sostanza, sempre a pesi eguali. Per esempio, il calore necessario a scaldare di 1° un grammo di acqua vale a scaldare similmente 9 grammi di ferro, 11 grammi di zinco e poco meno di 30 grammi di mercurio e di oro.

Esperienza 41.ª — Per convincersi del grande calore specifico dell' acqua, prendiamo 200 grammi di mercurio e scaldiamoli a 100°, ossia al punto d'ebollizione dell'acqua, ed allora mescoliamoli entro un sottile vaso di vetro con 100 grammi di acqua all'ordinaria temperatura. Con un termometro determiniamo la temperatura dell'acqua prima della mistura, e la temperatura della mescolanza dopo aggiunto il mercurio, e troveremo che quest' ultima temperatura è superiore di men che 8° appena della precedente, per opera del calore comunicato dal mercurio all'acqua.

Il fatto ora esposto del richiedersi quantità differenti di calore per produrre eguali scaldamenti in pesi eguali di sostanze diverse ha suggerita l'idea di poter paragonare tra loro le varie quantità di calore voluto a produrre dati effetti in dati corpi, assumendo come *unità di misura* delle quantità stesse il calore necessario a scaldare un' unità in peso (un chilogrammo) d'acqua di una unità termometrica (un grado); e si chiamò *caloria* questa quantità unitaria di calore.

Ad esempio, a scaldare 5 chilogrammi di acqua di 10°, si dirà che occorrono $5 \times 10 = 50$ calorie.

Per le altre sostanze bisogna altresì tener calcolo del calore specifico della sostanza. Così, per iscaldare un chilogrammo di ferro, richiedendosi appena $^1/_9$ ossia 0,11 della quantità di calore che sarebbe voluta

per iscaldare similmente un chilogrammo d'acqua, si dirà che occorrono calorie 0,11, od in altre parole che il calore specifico del ferro è 0,11 di quello dell' acqua. Pertanto, volendo scaldare 10 chilogrammi di ferro da 0° a 100°, occorreranno $10 \times 100 \times 0,11 = 110$ calorie.

62. Cambiamento di stato. — Abbiamo parlato più sopra dei tre stati della materia: solido, liquido e gazoso. Ora dobbiam dire che le sostanze, collo scaldarle più e più, passano prima dallo stato solido al liquido, e poi dallo stato liquido al gazoso. Nel libriccino di *Introduzione* avete appreso che il ghiaccio, l'acqua ed il vapore hanno precisamente la stessa composizione, e che il ghiaccio produce acqua, collo scaldarlo, e l'acqua produce vapore scaldandola ancor più.

Gli stessi cambiamenti accadono per le altre sostanze, trattate in simil modo. Ad esempio, prendiamo un pezzo del metallo chiamato zinco, e scaldiamolo: dopo alcun tempo esso si fonde, e proseguendo a scaldarlo esso si risolverà in gran parte in forma di vapori bianchi. Anche il ferro più duro e l'acciajo si possono render liquidi col calore, ed anche volatilizzarli in forma di vapori. Col mezzo poi della elettricità — di che diremo innanzi — possiamo riscaldare ogni sostanza al punto di trasformarla in vapore od in gas.

Non possiamo però raffreddare tutti i corpi abbastanza da ridurli solidi od anche liquidi. Per esempio, l'alcole puro non lo si è potuto ancora solidificare col raffreddamento; tuttavia comprendiamo che ciò dipende soltanto dal non aver potuto produrre un freddo bastevole ad agghiacciare l'alcole. Similmente non ancora potemmo raffreddar l' aria atmosferica così da

liquefarla, ma siam convinti che ciò si otterrebbe con un freddo più intenso.

63. Ben avrete compreso che io non intesi dire che il freddo sia qualche cosa di diverso della privazione del calore. Un corpo freddo è un corpo che ha poco calore; eppure codesto corpo potrà produrre qualche po' di calore in contatto con altro corpo che diciamo più freddo ancora di esso.

Devo però avvertire che nel giudicare della temperatura dei corpi non bisogna lasciarsi guidare solo dal senso del tatto. Due corpi possono avere la stessa temperatura, a giudizio del termometro, eppure possono sembrarci l'uno più freddo dell'altro. Se ponete una mano per qualche tempo in acqua ben fredda e l'altra mano in acqua ben calda, e poi le immergete insieme in altra acqua, avente la temperatura ordinaria, questa vi sembrerà calda con una mano e fredda coll'altra.

Adunque in questi giudizii non debbesi prestar fede che al termometro, e convien pur ammettere che il freddo esprima niente altro che l'assenza del calore.

64. Ritornando al nostro soggetto, diremo che probabilmente tutti i corpi, se li potessimo abbastanza raffreddare, cioè spogliare a sufficienza del loro calore, assumerebbero lo stato solido, e che qualora fossero abbastanza scaldati si ridurrebbero liquidi, e che poi, con uno scaldamento ulteriore, potrebbero tutti risolversi in forma di gas o di vapori.

Evvi però una grande differenza da sostanza a sostanza quanto alla facilità di ridurle liquide. Il ghiaccio si fonde a 0°; lo stagno ed il piombo devono essere scaldati oltre i 200° per liquefarli; il ferro è più difficile a fondersi che il piombo, ed il platino è

ancor più restio del ferro. Un corpo che presenti una grande difficoltà a fondersi è chiamato *refrattario*.

Nella tabella seguente esponiamo la temperatura per la quale si fondono alcune tra le più comuni sostanze.

Ghiaccio si fonde a	0°
Fosforo	44
Spermaceti	49
Potassio	58
Sodio	97
Solfo	110
Stagno	235
Piombo	325
Argento	1.000
Rame	1.200
Oro	1.250
Ferro	1.500

Il platino è così restìo a fondersi che non sappiam bene a qual temperatura esso il faccia. Il carbone è ancor più restìo, poichè sin nelle fornaci più cocenti esso si mantien solido: e nessuno mai avrà udito che il carbone siasi fuso e sia colato giù attraverso la griglia della fornace.

Vedete quindi che, per opera del calore, si producono in tutti i corpi cambiamenti di stato affatto simili: cosicchè possiam dire che tutti sarebbero solidi, come il ghiaccio, a temperatura bassissima, e tutti sarebbero gazosi, come il vapore ad altissima temperatura. Infatti i cambiamenti che han luogo nei vari corpi son sempre della stessa forma, e, sotto questo aspetto, non possiamo far meglio di citare l'acqua, come tipo di tutte le altre cose. Perciò studieremo con

cura il contegno di questa sostanza sotto l'azione del calore, incominciando dallo stato solido, quando ci appare in forma di ghiaccio.

65. Calore di fusione del ghiaccio. — Con del ghiaccio minuto, raccolto all'aperto, in rigido verno, e quindi freddissimo, involgiamo il bulbo del termometro (art. 55). Supponiamo che questo vi segni la temperatura di 10° al disotto del punto 0°. Rechiamo il tutto in una camera tiepida; la temperatura del ghiaccio andrà elevandosi, come fa ogni altro corpo solido posto in simili circostanze, sino a giungere allo 0°. Ma, pervenuta a tal punto si fermerà, e non passerà oltre, fintantochè rimarrà del ghiaccio solido di mezzo al liquido involgente il termometro.

Che fa dunque il calore, il quale non può elevare la temperatura del ghiaccio al disopra di questo punto? Esso, rispondo, lo fonde. Dianzi il calore era interamente adoperato nell'elevare la temperatura del ghiaccio freddissimo; ma, quando questa temperatura raggiunge lo 0°, il calore incontra un ufficio diverso da compiere. Il suo potere è ora impiegato interamente nel rendere liquido il ghiaccio, cioè allora il calore opera appunto come una *energia che produce il lavoro per isgruppare* le particelle del ghiaccio solido, e renderle scorrevoli facilmente le une su le altre, come lo sono nell'acqua. Talchè, sin quando il ghiaccio non siasi tntto fuso, l'acqua non oltrepasserà la temperatura di 0°. Pertanto l'acqua a 0° equivale al ghiaccio a 0°, coll'aggiunta d'una quantità di calore, chiamata *calore di fusione del ghiaccio*, ed anche *calor latente dell'acqua*, perchè non agisce sul termometro.

Esperienza 42.ª — Voi potete provare questo fatto,

ponendo una certa quantità di ghiaccio pesto in una tazza metallica, che scalderete su di una lampada, sicchè ancor vi resti qualche po' di ghiaccio. Allora, immergendo il termometro nell'acqua di fusione, la temperatura sarà tuttavia di 0°, come se ve lo aveste posto quando nel vaso v' era ancor molto ghiaccio e pochissima acqua; poichè l'acqua prodotta dalla fusione del ghiaccio si manterrà fredda quanto il ghiaccio non ancor fuso, benchè sovrapposta ad una viva fonte di calore.

66. Calore di vaporizzazione dell'acqua. — Ora che abbiamo mutato il ghiaccio in acqua, continuiamo a scaldare questa: la sua temperatura si eleverà gradatamente al modo consueto, come in tutti gli altri corpi, finchè essa raggiungerà il punto d'ebollizione, ossia 100°; ma non più oltre.

Come vuolsi una notevole quantità di calore per convertire il ghiaccio, ridotto già al punto di sgelo, in acqua allo stesso punto, così vuolsi una grande quantità di calore per convertire l'acqua, condotta al punto d'ebollizione, in vapore al punto medesimo. Ancor qui il calore si mostra efficace, come una *energia che produce il lavoro del disgregare* le particelle ancora coerenti dell'acqua liquida, per ridurla alla forma gazosa o di vapore. E perciò qui ancora siam condotti a dire: che il vapore a 100° equivale all' acqua a 100°, coll'aggiunta di quella quantità di calore, che diciamo *calore di vaporizzazione dell' acqua* e da altri è detta *calor latente dell' acqua*, perchè non agisce sul termometro.

Esperienza 43.ª — Per provar ciò, fate bollire dell'acqua in una boccia, e tenete la bolla del termometro ora entro il liquido bollente ed ora nel vapore che

sta poco al disopra dell'acqua nella boccia stessa. Troverete che entrambi hanno la medesima temperatura, od in altre parole il vapore non è più caldo dell'acqua bollente.

Pertanto, come il ghiaccio richiede il calore di fusione per essere ridotto in acqua, così l'acqua richiede ancora il calore di vaporizzazione per essere mutata in vapore. Ma più importa conoscere la quantità di calore necessario a produrre quest'effetto.

Ora, misurando il calore voluto a trasformare un chilogrammo di ghiaccio a 0° in acqua liquida, alla stessa temperatura, troviamo occorrerne quanto basta a scaldare di 1° chilogrammi 79 d'acqua, ossia richiedonsi 79 calorie. Ciò vogliamo significare, dicendo essere 79 le calorie di fusione del ghiaccio.

In simil modo si trovò che un chilogrammo d'acqua a 100°, per essere trasformato in vapore alla stessa temperatura, richiedonsi 537 calorie, quante ne occorrono per iscaldare 537 chilogrammi d'acqua di 1°.

67. Bisogna adunque condensare una gran quantità di calore per fondere il ghiaccio, e quindi impiegare molto tempo per far ciò. Eppure è ben meglio che la cosa vada così; poichè che mai accadrebbe se il ghiaccio al punto di fusione richiedesse solo qualche po' di calore per essere mutato in acqua liquida? Renderebbesi inabitabile gran parte del globo, perchè il ghiaccio delle alte montagne verrebbe in breve ridotto liquido, e l'acqua scorrerebbe giù in impetuosi torrenti, capaci di inondare ogni cosa innanzi a loro, e vaste estensioni di terreno sarebbero trascinate sotto alle acque.

Similmente è ben meglio per noi che vogliasi molto calore per convertire in vapore l'acqua al punto d'e-

bollizione, poichè se poche o punte fossero le calorie di vaporizzazione dell'acqua, facilmente avremmo delle esplosioni in ogni cogoma da caffè o da the, ed in ogni vaso bollitore, non appena che il fuoco fosse molto vivo, nel soverchiare la temperatura d' ebollizione; e la macchina a vapore diventerebbe quasi impossibile.

68. Vedeste poc' anzi che il vapore è un fluido simile all'aria, e nel libretto d' *Introduzione* imparaste che il vero vapore non è punto visibile. Quando l' acqua bolle rapidamente in una caldaja non potete vedere le parti sottilissime del vapore nel punto in cui escono dalla caldaja, ma poco al di sopra vedete bensì una specie di nebbia. Similmente, quando una locomotiva manda fuori il suo vapore, non è subito visibile ciò che esce fuori dal tubo, ma soltanto ad una piccola altezza vedete una nube. Ora questa cosa invisibile, quale prima sorge dall'acqua bollente, è il vero vapore, e la nube visibile che si forma al disopra consiste solo in piccolissime goccie di acqua prodotte dal vapore che si raffredda, e non è dunque vapore ma acqua. Il vero vapore è invisibile come l'aria ed ogni altro gas; e ciò che diciamo *vapore visibile*, qual è quello che forma la nebbia e le nubi, è un mero ammasso di finissime goccioline d'acqua diffuse nell' aria.

69. Ebollizione ed evaporazione. — Ciò che ora vi dissi sulla invisibilità del vapore che esce dalla caldaja punto non intendeva a significare che nessun vapore escisse dalla caldaja stessa, essendo ciò contrario al fatto. Così tutti sapete che una tazza d'acqua, posta sul fuoco, manda fuori vapore innanzi di cominciare a bollire; e senza dubbio sapete altresì che ogni cosa umida o pregna di acqua, in prossimità del fuoco,

diventa asciutta, cioè l' acqua esce da essa in forma di vapore.

Ora quando il vapore viene emesso dall'acqua che non bolle, il fatto è chiamato *evaporazione*, e dicesi *ebollizione* quando invece l'acqua bolle.

La differenza è sol questa. Quando scaldate l'acqua sovra il fuoco il calore ha due cose da fare. In primo luogo esso scalda l' acqua, ed in secondo luogo evapora una parte del liquido. Laddove, quando la temperatura dell'acqua è giunta a 100° od al punto di ebollizione, l'acqua non può essere scaldata più oltre, e quindi tutta la potenza del fuoco è spesa ora nel convertire l'acqua in vapore. E questo vapore sfugge allora, non solo dalla superficie dell'acqua, ma ancora dal fondo; cosicchè sentiamo un particolar rumore, chiamato bollimento, prodotto dalle bolle di vapore che, sollevando l'acqua e sfuggendo poi nell'aria, lascian ricadere ogni tratto l' acqua stessa a percuotere il fondo del vaso.

70. Il punto di ebollizione dipende dalla pressione. — Più sopra (art. 58) vi dissi che la temperatura alla quale bolle l' acqua non è tanto fissa quanto il punto di sgelo del ghiaccio. Se la pressione dell'aria diminuisce, l'acqua bolle al disotto di 100°. Rammenterete che la pressione dell' aria, come dissi, è minore alla cima di un alto monte che al fondo, perchè lassù avete una minore altezza di aria sovrastante, e quindi un minor peso ed una minor pressione (art. 38).

Sulla cima del monte Bianco in Isvizzera, alto circa 4800 metri, l'acqua bolle non appena che sia scaldata a 85°. E se un viaggiatore volesse tentare di cuocere un uovo in una pentola sulla vetta di quel monte, potrebbe farlo bollire di molto, ma non vi riuscirebbe,

poichè la temperatura di 85° non è sufficiente a farlo indurire. D' altra parte, se facciam bollire l' acqua al basso di una profonda miniera, il punto di ebollizione risulta superiore a 100°.

Esperienza 44.ª — Col seguente esperimento vedrete facilmente che la temperatura di ebollizione dell'acqua dipende dalla pressione del gas e dell'aria sovra la di lei superficie. Prendete un fiasco di vetro, ed empitelo solo per metà di acqua e lasciatelo bollire per alcun tempo, sicchè il vapore, cacciando fuori tutta l'aria dalla parte superiore del fiasco, rimarrà in questo soltanto acqua e vapore d' acqua. Ora, chiuso il fiasco con tappo, ritirate la lampada, e capovolgete il fiasco stesso, come nella figura 26ª. Quand'esso abbia cessato di bollire, prendete una spugna inzuppata

Fig. 26.

di acqua fredda e bagnate con essa la parte superiore del fiasco. L' acqua bollirà di nuovo. Ciò accade per-

chè l'acqua fredda versata sul fiasco farà condensare per entro una notevole quantità di vapore, diminuendo così la pressione da esso esercitata sull'acqua, e quindi l'acqua bollirà più facilmente, come farebbe sotto una pressione più bassa.

71. VARIAZIONI DI VOLUME. — Però credo opportuno l'aggiungere che alcuni corpi nell'atto di fondersi, od in genere nel passare dallo stato solido al liquido, si espandono, mentre altri si contraggono.

Esperienza 45.ª — Eccovi un po' di ghiaccio, il quale essendo meno denso dell'acqua galleggia su di essa, come vedete. Bisogna dire adunque che il ghiaccio, nel ridursi liquido, subisca una notevole contrazione, e che l'acqua, passando allo stato solido, cioè agghiacciandosi, subisca una notevole espansione. Questa espansione si effettua con gran forza. Così una palla cava di ferro a grosse pareti, empita di acqua e serrata fortemente con una vite o con una chiave, potrà essere spezzata dall'acqua, nell'atto in cui questa si agghiacciasse.

Il ferraccio nel fondersi si contrae, al pari del ghiaccio, ovvero esso si espande, come l'acqua, quando si solidifica. Perciò, ove il ferro liquido venga versato in uno stampo, quand'esso si solidifica, espandendosi, riempie tutti gli incavi dello stampo, e può quindi presentare i rilievi corrispondenti, cavandonelo fuori.

Invece l'oro, l'argento ed il rame si espandono nel fondersi, e si contraggono nel solidificarsi: quindi essi non si presteranno, come il ferro, a riempire gli incavi di uno stampo. Perciò la coniazione delle monete con questi metalli non può farsi col versarli fusi in uno stampo, ma bisogna stamparli solidi con appositi conii compressivi contro fortemente.

72. Tutte le sostanze si espandono poi, e grandemente, quando si convertono in gas o vapori. Così un litro di acqua al punto di ebollizione, trasformandosi in vapore alla temperatura stessa, presenta un volume di circa 1700 litri, cioè di un metro cubo e due terzi all'incirca. Ed è appunto per questa grande espansione prodotta dall' acqua nel vaporizzarsi, che può riuscire efficace assai la macchina a vapore. E questa espansione è provocata nell' acqua dal calore che vuolsi comunicarle per vaporizzarla (art. 67).

73. ALTRI EFFETTI DEL CALORE. — Vedeste più sopra che il calore fa espandere o dilatare i corpi nell'atto in cui questi aumentano di temperatura; e che inoltre esso vale a produrre i cambiamenti di stato, trasformando i solidi in liquidi, ed i liquidi in vapori. E vedete pure che il calore è una forza assai poderosa, da che una robusta e salda verga di ferro può ridursi in una massa incandescente e pastosa, e se viene più oltre scaldata, può risolversi in forma di gas.

Il calore però agisce sui corpi in molte altre maniere; specialmente esso promuove le azioni dell' attrazione chimica. Così, a bassa temperatura, il carbone non si combina coll' ossigeno dell' aria, e possiamo conservarlo per gran tempo in un magazzeno. Ma quando il carbone è molto caldo, questa combinazione, coll'ossigeno si effettua, e siccome codesta combinazione, alla sua volta, produce calore, il processo di combinazione procede rapidamente ed il carbone abbrucia.

Similmente nella esperienza citata nei *Principii di Chimica* (art. 6), nella quale il solfo ed il rame si uniscono insieme, il calore è dapprima applicato, per mezzo di una lampada, a promuovere la combina-

zione; ma, quando questa incomincia, producendosi calore dai corpi stessi, la combinazione progredisce da sè, senza richiedere più altro calore dalla lampada.

74. Miscele frigorifere. — Ogni unione di corpi di diversa natura produce calore, come vi fu detto nei *Principii di Chimica* art. 7: e ciò è sempre vero. Nondimeno talvolta due sostanze, che pur tendono a formare una soluzione, nel mescolarle producono freddo anzi che calore. Così il sal comune e la neve formano una soluzione; ma, in tale atto, producono un freddo notevole, ossia, a dir meglio, assorbono una notevole quantità di calore.

Esperienza 46.ª — Per dimostrar ciò, mescoliamo insieme rapidamente un po' di ghiaccio o di neve ed un po' di sale, e poniamo nella miscela il bulbo del nostro termometro. Ben presto il mercurio scenderà al disotto dello 0° di non pochi gradi, e vi si terrà per alcun tempo, mostrando così che la miscela, la quale man mano va producendosi, risulta più fredda del ghiaccio fondentesi.

Ma qual'è la ragione di questo fatto? Troviamo che in esso le due sostanze mescolate, che eran solide, ci danno solo una miscela liquida, qual'è l'acqua salsa. Ora vedemmo che, quando i corpi passano dallo stato solido al liquido, come quando il ghiaccio si scioglie (art. 60), richiedesi il calore per compire il lavoro di liquefazione. Pertanto, nel caso presente, una parte del calore della neve e del sale si adopera a rendere sciolte e fluide le loro molecole, e quindi avremo un liquido freddo per risultato della unione dei due corpi solidi.

Laonde, quando due solidi si sciolgono l'un l'altro, avremo il più spesso un notevole abbassamento di tem-

peratura, ossia molto calore sarà impiegato per la produzione del liquido. Tali corpi si dicono formare una *miscela frigorifera*.

75. Freddo prodotto da evaporazione. — In simil modo, quando un liquido evapora, accadrà in esso un sensibile raffreddamento, a cagione del calore necessario a produrre il lavoro di vaporizzazione (articolo 66). Così se versate qualche goccia di etere sulla vostra mano, presto vi sentirete un gran freddo, mentre quelle goccie, rapidamente involandosi in forma di vapore, toglieranno alla mano non poco calore. Col far evaporare rapidamente alcuni liquidi, talvolta si possono produrre intensi freddi, ossia temperature molte basse.

Esperienza 47.ª — Eccone una prova. Versiamo un po' d'acqua su di una larga capsula, posta sovra una tazza contenente acido solforico concentrato, e, collocato il tutto sotto la campana della macchina pneumatica, caviamone l' aria. La pressione dell' aria essendo diminuita di molto, l' acqua evaporerà rapidamente, e quindi una gran quantità di calore venendo adoperata a produrre questa vaporizzazione, il liquido residuo può raffreddarsi al punto da agghiacciare.

76. Distribuzione del calore. — Passiamo ora ad altra parte del nostro argomento, e consideriamo la tendenza che il calore dimostra per distribuirsi. Un corpo caldo non rimane sempre caldo, ma una parte del suo calore passa nei corpi più freddi che gli stanno intorno. Anzi esso insiste sempre per far ciò, ma lo può fare in diversi modi, secondo le circostanze.

Esperienza 48.ª — Ad esempio poniamo nel fuoco l'estremo di una verga di ferro. Il calore del fuoco, passerà in parte nella verga che lo tocca, e di poi pas-

serà mano mano pel lungo di essa, sino all' altro estremo più lontano dal fuoco; cosicchè, dopo alcun tempo troverete che non lo si può più toccare. Questo passaggio del calore lungo la verga è chiamato *conduzione del calore*.

Esperienza 49.ª — Prendiamo ora un fiasco, pieno per due terzi di acqua, e poniamovi al disotto una lampada. Siccome le particelle dell'acqua, che stanno al fondo, scaldandosi si espandono, diventeranno anche più leggiere, cioè meno dense, e per conseguenza saliranno verso la sommità del liquido, per la stessa ragione per cui il sughero s'alza nell'acqua, e saranno quindi mano mano rimpiazzate da altre particelle, più fredde e più dense, che non tarderanno a scendere. Laonde nuove particelle saranno, ad ogni tratto, assoggettate al calore della lampada, ed avremo un continuo muoversi di parti calde ascendenti e di parti fredde discendenti; ed intanto tutta l'acqua andrà scaldandosi man mano, e potrà anche esserlo sino alla ebollizione (vedi avanti pag. 95). Questo processo è chiamato *convessione del calore*.

Per nessuno di questi processi però il calore del sole può giungere sino a noi. Poichè tanto nella conduzione, quanto nella convessione, il calore è trasportato col mezzo delle particelle di un solido o di un liquido; e noi abbiam ragione per credere che non sianvi di sì fatte particelle per tutto lo spazio che corre tra noi ed il sole, mentre sappiamo che la luce ed il calore del sole impiegano appena otto minuti circa per venire a noi dal sole, collocato ad una distanza di circa 153 milioni di chilometri. Evidentemente adunque il calor solare, muovendosi con una immensa velocità, non potrebbe esserci condotto da

particelle trasferentisi dal Sole a noi. E nemmanco lo è dalle particelle interposte, poichè vediamo che, in una giornata freddissima, quando l'aria e tutte le cose che ci circondano sono del pari estremamente fredde, i raggi del Sole ci si mostrano tuttavia molto efficaci. Quindi il processo col quale il calore passa dal Sole a noi ed agli altri corpi freddi, è chiamato *radiazione del calore.*

Abbiamo così tre modi diversi coi quali i corpi caldi comunicano il loro calore ai freddi, cioè *conduzione, convessione* e *radiazione.* Consideriamo ora più in particolare ciascuno di questi modi.

77. CONDUZIONE DEL CALORE. — Poco sopra dicemmo come una verga posta nel fuoco si scaldi sino all'estremo, così da non poterla tenere. Ma se invece di un'asta di metallo si pone similmente nel fuoco una verga di vetro o di terra cotta, l'estremo di essa non diventerà molto caldo, perchè il vetro e le terraglie non conducono il calore così facilmente come i metalli.

Anche la lana e le penne sono sostanze che mal conducono il calore, e appunto di queste sostanze vennero provvisti da natura, a forma di vestimento, moltissimi animali. Poichè la temperatura di un animale è in generale superiore a quella dei corpi che lo circondano, e quindi il calore non è prestamente condotto fuori attraverso le pelliccie o le piume, delle quali è coperto l'animale. Così, volendosi conservare il calore entro le caldaje delle macchine, le si cingono con inviluppi di materia non conduttrice.

Un corpo cattivo conduttore può adoperarsi, non solo per conservare il calore *interno* di un altro, ma ancora per preservarlo dal calore *esterno.* Per esem-

pio, la flanella è adoperata per cingere il nostro corpo all'uopo di conservare il calor nostro; ma la si adopera anche per cingere un pezzo di ghiaccio, che vuolsi preservare dal calore esterno. Infatti il calore non passa facilmente attraverso la flanella, tanto che esso debba procedere dal di dentro al di fuori, quanto che dal di fuori all'indentro.

Esperienza 50.ª — Riesce agevole il mostrarvi che le diverse sostanze hanno un differente *potere conduttivo* pel calore. Vedete qui, come nella fig. 27ª, due aste, l'una di rame e l'altra di ferro, i cui capi, da una banda, sono uniti tra loro e vengono insieme scaldati da una lampada. Dopochè questa arderà da alcun tempo, prendete due piccoli frammenti di fosforo, ed uno

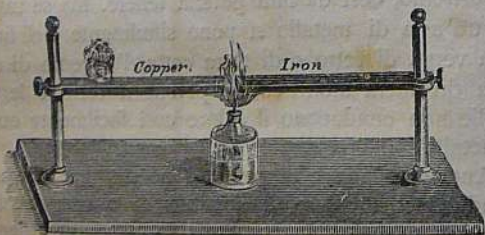



Fig. 27.

ponetelo dalla banda dov'è l'asta di rame, a qualche distanza dalla fiamma: esso di subito prenderà fuoco. Ponete invece l'altro frammento di fosforo sull'asta di ferro, alla medesima distanza dalla lampada: esso non prenderà fuoco. Il che ci mostra che il calore della lampada vien condotto più efficacemente lunghesso il rame che non lungo l'asta di ferro.

La conduzione del calore spiega l'azione della lam-

pada di sicurezza immaginata da Onofrio Davy a vantaggio dei minatori. Ma questa lampada, tanto usitata, vi fu già pienamente descritta nei *Principj di Chimica* (art. 41).

78. CONVESSIONE DEL CALORE. *Esperienza 51.ª* — Abbiasi un vaso pieno d'acqua, e pongasi a galleggiare sulla sua superficie un vasetto con entro olio bollente: trovasi che il calore dell'olio si propaga con estrema lentezza all'ingiù attraverso il liquido, tantochè, a pochi centimetri al disotto del vasetto, l'aumento di temperatura sarà appena sensibile. Ma, se invece di scaldare il vaso d'acqua dall'alto, lo scalderemo, come nella figura,

Fig. 28.

dal fondo di esso, potremo ridur l'acqua a bollire. Infatti, come abbiam osservato poco sopra (pag. 92), le particelle calde e meno dense s'innalzeranno e saranno surrogate da quelle fredde e dense, cosicchè

avremo una circolazione continua, costituita, come lo dimostrano le freccie segnate nella figura, da una corrente di acqua calda ascendente nel mezzo del vaso, e da tante correnti di acqua fredda discendente in prossimità delle pareti.

La natura ci offre parecchi buoni esempi di convessione. Ad esempio, in un lago, che si raffredda alla superficie per causa di rigida stagione, le particelle superficiali sono le prime raffreddate, e come più pesanti scenderanno giù, e saranno sostituite da particelle calde e meno dense provenienti dal fondo; cosicchè, in un certo lasso di tempo, tutto quel corpo d'acqua andrà raffreddandosi sino a scendere alla temperatura di 4° al disopra del punto di sgelo. Ora, raggiunta questa temperatura, l'acqua, a differenza degli altri corpi, per un ulteriore raffreddamento, invece di contrarsi, si dilata, e quando il ghiaccio si forma, esso galleggia alla superficie essendo meno denso dell'acqua (esp. 45ª). Ebbene, se il ghiaccio fosse più denso dell'acqua, esso cadrebbe al fondo mano mano che formerebbesi, e la superficie del lago restando sempre esposta al raffreddamento, tutta l'acqua del lago, in un tempo più o meno lungo, diventerebbe una massa di ghiaccio. Ma, le cose vanno altrimenti, cioè pel dilatarsi dell'acqua che si raffredda al disotto dei 4°, questa galleggierà su la più calda, ed il freddo esterno potrà soltanto agghiacciare qualche strato d'acqua contiguo alla superficie, e ciò con molta lentezza, essendo il ghiaccio un ben cattivo conduttore del calore; per modo che non c'è pericolo di vedere interamente gelato un lago.

Anche nell'aria abbiamo efficaci correnti di convessione dovute allo scaldamento; e ciò a quel modo

che l'aria calda del fuoco d'un camino s'innalza su per la canna, venendo surrogata dall'aria fredda della camera. Abbiamo questa stessa cosa, su ampia scala, nel sistema dei venti.

Da quella regione della terra che dicesi zona equatoriale, dove il sole è più efficace, l'aria scaldata si leva verso l'alto dell' atmosfera, e quest'aria è allora surrogata da altra aria fredda e greve, che scorre lungo la superficie del globo, proveniente dalle regioni polari che sono le più fredde. Abbiam così all' equatore un sistema di correnti ascendenti, che trasportano l' aria calda verso i poli nell'alto dell' atmosfera, ed abbiamo correnti basse lungo la superficie della terra, le quali trasportano quest' aria raffreddata all'equatore. Questo sistema di correnti atmosferiche dà ragione de' così detti *venti alisei*.

79. Calore radiante e luce. — Un terzo modo con cui un corpo caldo distribuisce il suo calore è quello della radiazione, ed è per esso che il calor solare giunge alla terra (art. 69). Però non abbiamo bisogno di andar così lontano per trovare un esempio di questo modo d'azione. Se ci poniamo dirimpetto ad un gran fuoco, noi sentiamo che gli occhi nostri e la nostra faccia soffrono per il calore, che irradia dal fuoco stesso.

Anche una pentola contenente acqua molto calda manda fuori calor radiante, sebbene i raggi di calore non possano in tal caso percepirsi cogli occhi, cioè produrre in noi la sensazione di luce, come fanno i raggi provenienti dal fuoco e dal sole.

Può aver luogo qualche cosa di simile, quando vi facciate a scaldare gradatamente più e più un corpo, come una palla d'argilla. Il corpo, dapprincipio, non

fa che elevare grado a grado la sua temperatura, e perciò ci manda pure raggi di calore; ma questi sono oscuri e non agiscono sulla vista. Col progredire dello scaldamento, una parte dei raggi che il corpo stesso ci invia, comincia ad agire sull'organo della vista, ed il corpo divien rovente, cioè piglia un color rosso cupo; in seguito acquista il color giallo, poscia il color bianco, ed infine esso risplende di una luce così viva, da somigliare al sole. Concedetemi di occuparci per poco di questi raggi luminosi, che emanano da un corpo caldissimo.

80. Velocità della luce. — Römer, astronomo danese, fu il primo a determinare la velocità colla quale la luce percorre gli spazi. Per intendere come ciò possa farsi, rammentatevi quanto ha luogo allorchè si esplode in distanza un'arma da fuoco. Vediamo la fiamma, e dopo pochi secondi udiamo il colpo (art. 31). Evidentemente, da che il suono non può raggiungere l'orecchio nello stesso momento in cui l'arma prende fuoco, convien dire che il suono rimase addietro della luce. Ma la luce giunger può a noi nello stesso istante? Potrebb'essere che luce e suono partissero dal cannone nello stesso momento, ed impiegassero ciascuno alcun tempo per giungere a noi, e che però la luce vincesse la corsa, camminando più rapida.

Questo punto può soltanto esser risolto con osservazioni od esperienze, e fu Römer che riuscì a trovarle. Vi è uno de' più grandi pianeti, chiamato Giove, il quale talora è molto lontano da noi, e talora è relativamente vicino. Questo gran pianeta ha parecchi satelliti o piccioli seguaci, i quali girano intorno ad esso, come fa la luna a girare attorno la terra: uno di questi satelliti di Giove passa sul disco o sulla superficie

apparente del pianeta ad intervalli regolari di tempo, cosicchè, usando un potente telescopio, possiam vedere il piccolo satellite, simile ad un punto nero, passar sovra il disco di Giove e produrvi una specie di ecclisse. Ora Römer trovò che l'intervallo di tempo tra due successivi passaggi va mano mano aumentando quando Giove va allontanandosi dalla terra, ed invece codesto tempo vien diminuendo grado grado che Giove si avvicina alla terra. Römer argomentò che queste differenze provenissero dai diversi spazi percorsi dalla luce che viene a noi, secondo le diverse distanze di Giove, e che perciò la luce sua impiega diversi tempi per giungere alla terra, in proporzione delle diverse distanze.

Vedete quindi che la luce, al pari del suono, richiede tempo per camminare, fuorchè la luce cammina più rapida del suono. In un minuto secondo la luce corre l'enorme spazio di circa 300 mila chilometri, mentre il suono nel tempo stesso percorre solo un terzo di chilometro (met. 333). Quindi è che la luce del sole in circa 8 minuti primi, misura la distanza di 153 milioni di chilometri: epperò, qualora, per ipotesi il sole repentinamente si estinguesse, noi ci accorgeremmo di ciò soltanto 8 minuti dopo.

Nondimeno non possiamo credere che la luce consista in sottili particelle messe fuori dai corpi caldi e scorrenti lo spazio coll'enorme velocità di 300 mila chilometri al secondo. Se tale fosse il caso, noi saremmo colpiti violentemente dai raggi di luce. Invece può supporsi che un raggio di luce entri nell'occhio allo stesso modo con cui il suono entra nell'orecchio. Abbiam già spiegato che quando udiamo il colpo di un cannone non significa che alcune piccole particelle

d'aria abbian trascorso tutto lo spazio che separa il cannone dall' orecchio. Similmente quando riceviamo la sensazione di un raggio di luce, non significa che alcune particelle siano lanciate fuori e che esse medesime giungano dal corpo luminoso sino al nostro occhio. Può credersi invece che una serie rapidissima di vibrazioni o di onde si propaghi attraverso il mezzo che sta fra noi e questi corpi, e che le singole sue pulsazioni siano comunicate da particella a particella, al modo esposto nell'esperimento fatto colle palle d'avorio (pag. 60-61).

81. Riflessione della luce. — Quando la luce batte sulla superficie pulita di un metallo vien da essa riflessa. Collocando una candela accesa dinanzi ad uno specchio e guardando in questo, vi apparirà l'immagine della candela nello specchio stesso. Ciò significa che i raggi della fiamma battono sullo specchio e sono da questo riflessi verso i nostri occhi, appunto come se essi venissero dallo specchio, e non già dalla candela.

Esperienza 52.ª — Per meglio chiarire come si produca la riflessione, prendiamo una superficie me-

Fig. 29.

tallica orizzontale e ben pulita, quale può aversi versando del mercurio in un vaso basso, a fondo piatto. Disponiamo poi un tubo piegato ad angolo ed aperto

al fondo ed agli estremi, nel modo che appare dalla fig. 29ª, e facciamo entrare nel tubo la luce d'una candela dall'apertura superiore di destra: ponendo l'occhio all'apertura di sinistra, vedremo la luce della candela, in quanto viene riflessa dalla superficie del mercurio.

In questa esperienza adunque la luce della candela discende per uno dei rami del tubo piegato, batte sulla superficie del mercurio ed ascende all'occhio per l'altro ramo del tubo stesso. Ma perchè la luce possa far ciò, necessitano due cose: in primo luogo gli assi dei due tubi devono avere la *stessa inclinazione*, rispetto alla superficie del mercurio; in secondo luogo questi assi delle due parti del tubo devono trovarsi *in uno stesso piano*, cosicchè, ove fossero projettati su la superficie del mercurio, dovrebbero trovarsi in linea retta.

Pertanto ogniqualvolta un raggio di luce cade su una superficie pulita, il raggio riflesso si eleva da questa colla medesima inclinazione colla quale il raggio incidente cadde su di essa, e le direzioni dei due raggi si trovano in un medesimo piano.

Voi non potete intendere completamente le leggi della riflessione senza l'ajuto della geometria; ma la figura seguente vi capaciterà forse ad intenderne qualche cosa. *A* rappresenta nella figura un punto luminoso, che manda raggi di luce verso lo specchio *M N*. Sieno *A B* ed *A B'*, due di questi raggi provenienti da *A* ed incidenti nei punti *B* e *B'* dello specchio. Questi raggi sorgeranno verso l'occhio dell'osservatore nelle direzioni *B D* e *B' D'*, tali che gli angoli formati da' raggi riflessi *B D* e *B' D'*, collo specchio eguaglino quelli formati con esso dai rispettivi raggi

incidenti AB ed AB'. Ora, immaginando prolungate al di là dello specchio le direzioni dei due raggi BD e $B'D'$, esse si incontreranno nel punto A', il quale si

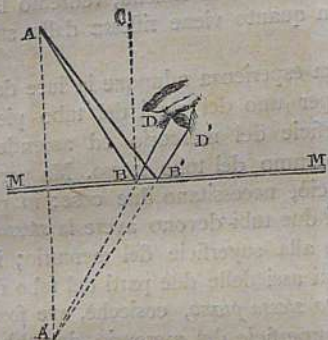



Fig. 30.

trova al disotto dello specchio di tanto quanto il punto A ne sta al disopra. Quindi, all'occhio, i due raggi riflessi appariranno procedere dal punto A', ossia la posizione apparente dell'immagine riflessa A' si troverà al di là dello specchio di quanto il punto luminoso ne è al di qua.

Laonde, stando voi di contro ad uno specchio, vedrete la vostra immagine, come se fosse al di là dello specchio dall'altra banda e di fronte a voi. Se vi avvicinerete allo specchio, la figura riflessa verrà pure avvicinandosi ad esso; se invece ve ne discosterete, anche l'immagine riflessa se ne discosterà; e così via. Però conviene che badiate pure ad una differenza, a questa segnatamente che la vostra mano destra apparisce la mano sinistra dell'immagine e che il *vostro fianco destro riesce il fianco sinistro dell' immagine stessa.* Ma

per ogni altro riguardo l'immagine vostra sarà una copia fedele di voi stessi.

Nella figura 31.ª vedete nella parte inferiore l'immagine della parte superiore prodotta dallo specchio

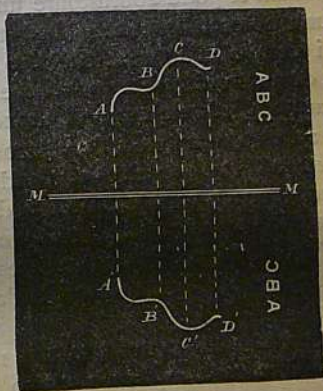



Fig. 31.

M N, e vedete pure che nella immagine le lettere procedono da destra a sinistra e non da sinistra a destra.

Quando la superficie riflettente non è piana si producono talora alcune immagini molto curiose. Per esempio, prendete la superficie brillante del mercurio contenuto nel bulbo del termometro, e guardate verso di essa: vedrete una immagine piccola e contorta di voi stessi, ed anche di tutto ciò che sta nella camera dietro di voi, fuorchè diventeranno eccessivamente piccole le distanze fra le diverse parti della camera.

Prendete poi una coppia di specchi concavi ben puliti, simili a quelli della figura 22ª; fuorchè, invece di porre un orologio nel fuoco di uno specchio e l'o-

recchio nel fuoco dell'altro, ponete in uno dei fuochi una palla rovente e la vostra mano nell'altro, che tosto la sentirete troppo calda. Anzi, avendosi due grandi specchi di questa specie, e ponendo nel fuoco dell'uno una viva fiamma si potrà abbrustolire un pezzo di carne, come una biftecca, nel fuoco dell'altro, sebbene i due specchi sieno alla distanza fra loro di 10 metri. La ragione di questo fatto sta in ciò che i raggi di calore, che partono dalla fiamma e battono sullo specchio vicino ad esso, vengono riflessi secondo linee parallele e diretti all'altro specchio, e quando lo abbiano incontrato vengono da questo riflessi in direzioni convergenti verso il suo fuoco. Qui abbiamo ancora la fiamma nell'un fuoco e l'immagine di essa nell'altro, e questa immagine è abbastanza calda da cuocere un pezzo di carne.

82. Inflessione o rifrazione della luce. *Esperienza 53.*[a] — Ponete un piccolo corpo pesante sul fondo di un vaso di terraglia o di metallo, e ponete il vostro occhio in tal posto, che le pareti del vaso coprano interamente la vista di quel corpo; allora, versando acqua nel vaso, sino ad empirlo, il corpo che sta nel fondo vi si renderà visibile. Che accadde mai? I raggi di luce di quell'oggetto, che attraversano l'acqua, giungendo alla superficie di questa, ne emergono inflessi, cioè con una direzione diversa da quella, che avevano entro l'acqua: cosicchè voi potrete vederli anche nell'interno dell'angolo formato dalla retta visuale toccante il labbro superiore della parete colla superficie dell'acqua. E se, per avventura, il piccol corpo, situato sul fondo del vaso, fosse un pesce, questo potrebbe veder voi.

Da ciò si scorge che un raggio obliquo di luce

incontrando la superficie dell'acqua, si inflette così da sembrare meno obliquo, penetrato che sia nell'acqua. Ed all'incontro un raggio di luce obliqua uscendo fuori dall'acqua, si inflette così da apparire più obliquo, passato che sia nell' aria. La stessa cosa accadrebbe ove il raggio di luce penetrasse in un vetro od in altro corpo trasparente, cioè ancora un raggio obliquo sembrerebbe meno inclinato dopo essere entrato nel vetro.

Con una lastra piana di vetro di qualche grossezza, un raggio di luce seguirebbe il cammino indicato dalla fig. 32.ª Qui vedete che esso si piega nell' atto di

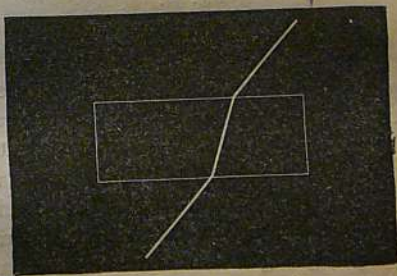



Fig. 32.

entrare nella lastra, e si piega ancor dopo nell'atto di uscirne; tuttavia queste due inflessioni essendo eguali ed inverse, la direzione del raggio emergente riesce parallela a quella del raggio incidente sulla lastra; laddove il cammino fatto dal raggio nell' interno di questa tiene una direzione differente.

Supponiamo ora che il pezzo di vetro non sia piano, ma foggiato a guisa di un cuneo, e che esso stia con uno spigolo volto all'insù e con una sua faccia posata in un piano orizzontale, cosicchè, guardato dall' alto,

presenti l'apparenza della figura 34.ª Un tal pezzo di vetro è chiamato un *prisma.*

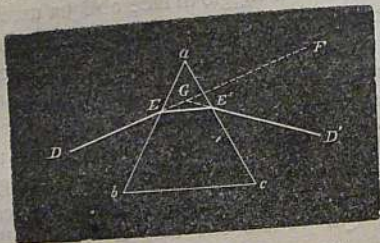



Fig. 33.

Dalla figura 33ª vedete in che modo un raggio di luce vien piegato nell'entrare e nell'uscire dal prisma, e come il raggio che esce dal prisma venga piegato verso la parte più grossa, ossia verso la base del prisma, mutando quindi di direzione rispetto a quella del raggio che giunge su una delle faccie laterali del prisma stesso.

Fig. 34.

E così sempre accade che un raggio luminoso attraversando un prisma di vetro vien deviato verso la parte più grossa di esso, cioè verso la sua base.

83. Lenti; immagini date da esse. — Mutiamo ancora la forma del pezzo di vetro nel modo seguente. Prendiamo un vetro circolare, simile ad una torta, fuorchè nel mezzo sia più grosso, e sottile tutto all'intorno: per modo che, vedendolo di fronte, vi presenti la figura di un cerchio, e guardandolo di fianco, cioè per la costola, presenti una forma simile a quella della fig. 35ª.

A

Fig. 35.

Un pezzo di vetro così foggiato chiamasi *lente biconvessa.*

Dirigendo su una lente un fascio di raggi luminosi, provenienti da lontano e tra loro paralleli, la lente agirà come un cuneo circolare, pel quale la maggior grossezza essendo nel mezzo, i raggi luminosi, da tutto

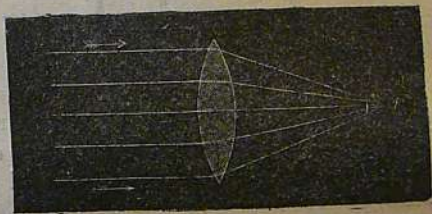



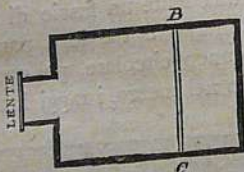
Fig. 36.

all' intorno, saranno piegati verso il mezzo della lente, e quindi concorreranno in un punto o pressochè in un punto, siccome si scorge dalla figura 36ª.

Ora supponiamo di esporre una lente allo splendore del sole. I raggi solari che battono sovra una sua faccia, uscendo dall' altra parte della lente, si troveranno tutti così piegati da convergere ad un unico punto, o piuttosto in alcuni pochi punti prossimi ad esso. Tanto che, ponendo un foglio di carta in tal punto, vedrete là una piccola immagine splendente del sole, la quale diverrà così calda da metter fuoco nel foglio di carta. E appunto una lente biconvessa può adoperarsi come un mezzo per abbruciare i corpi.

Esperienza 54.ª — Una tal lente darà un' immagine d'ogni altro oggetto in pari modo che diede quella del sole. Eccovi, ad esempio, un' apparecchio (fig. 37ª) col quale i raggi luminosi di una candela, avviati su di

una lente, e di poi sovra un foglio di carta bagnata d'olio e posto dall'altra banda della lente, danno un' im-

Fig. 37.

magine della candela, la quale però vi appare capovolta. Similmente, ponendo qualunque altro oggetto, purchè sia illuminato, di fronte alla lente ed a qualche distanza da essa, avrete su la carta una piccola immagine dall'altra parte della lente.

Ebbene è precisamente così che fa il fotografo. Egli possiede una cassetta nera munita d' una lente da un lato, come vedete nella figura 37ª: dirige la lente verso il paesaggio o verso la persona, di cui vuol prendere l' immagine ed entro la cassetta si produce una piccola immagine di queste cose, la quale è dapprima fatta cadere su di una lastra di vetro, che gli permette di vedere se l' apparecchio sia ben diretto. Toglie poi questa lastra, e pone a suo luogo altra lamina di vetro, avente la superficie coperta da una particolar sostanza, sulla quale agisce la luce. Quindi l'immagine dell' oggetto, cadendo ora su questa sostanza, le parti più luminose delle immagini la modificano più distintamente, mentre le parti oscure non la modificano punto. Pertanto l'immagine stessa stampa da sè la propria impressione sulla sostanza. Fuorchè in questo stampo le parti lucide delle immagini appajono oscure, e le oscure appajono lucide; ed è per-

ciò che essa è chiamata *negativa*. Per mezzo di questa immagine negativa sono poi prodotte le ordinarie figure, che chiamansi *positive*.

84. Lenti di ingrandimento. — Le lenti biconvesse sono tanto spesso applicate per ingrandire l'immagine degli oggetti piccoli, che tutti voi avrete adoperato qualche stromento che produce codesto effetto, e saprete che bisogna porre l'oggetto che vuolsi vedere ingrandito assai vicino alla lente. Non potrete però con un istromento così fatto ingrandire un oggetto lontano, come sarebbe la luna od un pianeta. Tuttavia, volendo osservare oggetti così distanti, potete adoperare due vetri, cioè due lenti: una lente grande, per mezzo della quale produrrete un'immagine della luna o del pianeta, appunto, come poc'anzi dicemmo, che si può riprodurre l'immagine del sole; ed un'altra lente d'ingrandimento, attraverso della quale esaminerete poi, ingrandita, codesta immagine.

Insomma, se volete vedere distinto un oggetto vicino usate una sola lente convessa, e se volete osservare oggetti lontani, con una prima lente produrrete vicino a voi un'immagine e con altra lente osserverete le particolarità della immagine stessa. Questa combinazione di due lenti, che ci dà distinta l'immagine di un oggetto lontano, chiamasi *telescopio*. Però le lenti sono situate entro un tubo, che serve a proteggerle dalla luce laterale, ed a fissare ad opportuna distanza, l'una dall'altra, le due lenti.

85. Le differenti specie di luci presentano rifrazioni diverse. — Posso provarvi ciò con un raggio di luce che infletto, facendolo passare per un prisma. Dissi ora che questa inflessione non è la stessa

per le luci di diversa specie. Nella figura 38.ª vedete come vien piegato un raggio di luce rossa, passando

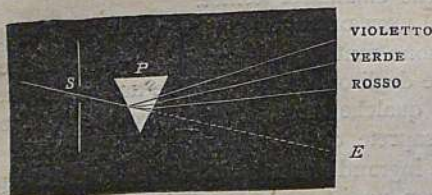



Fig. 38.

pel prisma. Se questo raggio fosse invece di colore aranciato si sarebbe inflesso un po' più rispetto alla sua direzione primitiva; il giallo s' inflette ancor più; il verde più del giallo; l'azzurro maggiormente; l' indaco più ancora dell' azzurro, e più di tutti poi il violetto. Per ciò, se veramente un raggio luminoso fosse un composto, o piuttosto una miscela formata con questi sette colori (rosso, aranciato, giallo, verde, azzurro, indaco e violetto), ognuno di questi, attraversando il prisma, sarebbe diversamente piegato rispetto ai raggi ad esso vicini, ed emergerebbero separati l'uno dall'altro: talchè l'occhio nostro potrebbe vederli distinti, sebbene fossero commisti tra loro entrando nel prisma.

Pertanto un prisma spezza ne' suoi elementi un composto di varie luci, separando i colori gli uni dagli altri.

Forse vi recherà sorpresa l'udire che la luce bianca, quale ci viene dal sole, è in realtà composta di tutti i diversi colori che vi ho testè nominati. Però una breve riflessione potrà convincervi del fatto.

Ad ognuno di voi sarà occorso di osservare i ma-

gnifici e svariati colori che scorgonsi guardando nelle piccole gocce di rugiada, in alcuni cristalli e nelle gemme, quando esse sono colpite dai raggi di luce solare. In tal occasione questi corpi spiegano tutti i colori che ci appajono in cielo coll'arcobaleno.

E questa rassomiglianza ci trae a chiedere: se mai le varie tinte dell'arcobaleno non fosser dovute alla stessa cagione dei colori delle gemme. Forse che la presenza di una moltitudine di piccole goccie d'acqua, sparse nel cielo, non potrebbero operare al modo di que' piccoli diamanti che ammiriamo sull'erbe bagnate dalla rugiada? Queste apparenze possono appunto essere dovute ad una stessa causa. Ma, se è così, qual è questa causa? Siffatta scoperta è dovuta ad Isacco Newton, il quale fu il primo a mostrare che la luce bianca è realmente composta di un gran numero di raggi diversamente colorati, insieme commisti, e che questi raggi possono venir separati nell'attraversare alcuni corpi. Infatti il prisma, come abbiam detto poc'anzi, ci dà il mezzo di separare gli elementi di color diverso d'un raggio composto.

A tal uopo abbiasi una stretta fessura verticale, praticata nell'imposta d'una camera buia ed a pareti annerite, e per tale fessura si faccia passare un fascio di luce solare. Nella figura 38ª vedete il piano della disposizione delle cose, guardando dall'alto al basso, o come suol dirsi a vista d'uccello. Però, innanzi di collocare il prisma *P*, la direzione del fascio luminoso che entra dalla fessura *S* viene indicata dalla retta *S E*, talchè, ponendo l'occhio in *E*, e guardando verso la fessura dell'imposta, vedesi soltanto una striscia di luce bianca, poichè la fessura stessa opera come un'apertura attraverso alla quale scorgiamo lo splendore

del lontano sole. Interponendo ora il prisma, come è indicato nella figura, se porrete ancora l'occhio in E, più non vedrete di là la fessura. Nondimeno, movendo l'occhio verso la parte più grossa del prisma, cioè verso la sua base, incontrerete ancora la striscia di luce proveniente dalla fessura: ma l'apparenza di essa sarà ora cangiata di molto. Non avrete più, come dianzi, una sottile striscia brillante di luce bianca, ma vi apparirà una larga benda, ovvero un nastro di luce a varie tinte, incominciando dal color rosso, situato all'estremo inferiore, e passando gradatamente pei colori seguenti: aranciato, giallo, verde, azzurro, indaco e violetto, che segna l'estremo superiore.

Tutto ciò intendesi facilmente dietro quanto vi dissi testè, rammentando che la luce bianca è di fatto composta di tutti quei diversi colori, misti insieme. Pertanto, non solo i raggi luminosi si riflettono attraversando il prisma, ma vengono piegati con diversa misura. Avremo quindi una moltitudine di piccole immagini luminose della fessura, stratificate l'una sull'altra, e formanti un vero nastro di luce, piuttosto che una piccola striscia. Il rosso sta ad un capo, perchè i raggi rossi sono i meno deviati; all'altro capo stanno i raggi violetti, perchè son quelli che subiscono il maggior deviamento. Questo nastro di luce a varii colori è chiamato *spettro*; e se la luce che facciam passare per la fessura è quella del sole, avremo lo *spettro solare*.

Or bene, le piccole goccie d'acqua della rugiada e le goccie della pioggia cadente, attraversate dalla luce solare, operano su questa in modo simile a quanto fa un prisma; cioè giungono distinti al nostro occhio i colori elementari della luce stessa, attesa la varia inflessione che ognuno di essi subisce attraversando tali goccie.

86. Ricapitolazione. — Con ciò vi esposi parecchie nozioni sulla radiazione della luce e del calore. In primo luogo vi mostrai che i corpi scaldati producono dapprima soli raggi oscuri, e che però, elevando d'assai la loro temperatura, i raggi si rendon luminosi e capaci di agire sull'organo della vista. Poi vi dissi alcun che sulla riflessione di questi raggi per mezzo di superficie pulite. Avete pure appreso come la direzione dei raggi si modifichi passando attraverso l'acqua od il vetro, e come un prisma di vetro infletta i raggi, volgendoli verso la sua base. Poi vedeste come una lente pieghi i raggi tutt' all'intorno verso il suo centro, e coma un fascio di raggi solari, passando per una lente, dia una piccola immagine luminosa del sole, la quale può far ardere la carta e bruciare la mano.

In seguito vedeste come con una lente si può similmente produrre l'immagine della luna o di un pianeta, e come poi guardando questa immagine con altra lente si veda assai ingrandita l'immagine stessa; e questa combinazione di due lenti è chiamata telescopio. Infine imparaste che i raggi differentemente colorati della luce vengono inflessi o deviati differentemente con un prisma, talchè occupando essi diversi punti dello spazio, si manifestano separati i varj elementi di un raggio composto di luce.

Ma, innanzi concludere questo capitolo, diciamo ancora qualche cosa sulla natura del calore.

87. Natura del calore. — Poc'anzi abbiam paragonato il calore al suono (art. 53), ed abbiam veduto che un corpo caldo è un corpo dotato di energia (art. 73). Riprendiamo questo paragone, per condurlo più innanzi.

Nel suono abbiamo da studiare due cose, cioè prima

il corpo che vibra, poi gli impulsi che esso invia attraverso l'aria sino al nostro udito, e che vi suscitano la sensazione di un suono.

In un corpo caldo, come vi ho detto, le minime particelle sono in vibrazione rapidissima; e appunto, come un corpo vibrante manda fuori un suono che colpisce l'orecchio, così un corpo caldo manda fuori la luce che colpisce l'occhio. Ora, che occorre per far vibrare un corpo, per esempio una campana, un tamburo? — Bisogna soltanto dargli un colpo od una percossa. Spingendo un pesante martello od un battente contro le pareti della campana, questa si mette tosto a vibrare. Ora il martello ed il battente, innanzi percuotere la campana, sono corpi in rapido moto, e quindi possiedono un'energia e ponno produrre un lavoro. Ebbene, che accade di questa energia dopo che la campana fu percossa? — Invero quel corpo ha passata la sua energia alla campana, poichè questa è ora in moto di vibrazione: ed avete pur dianzi appreso che un corpo vibrante è dotato di un'energia. Così l'energia del colpo dato alla campana non andò perduta, ma venne solamente trasmessa dal martello alla campana.

Supponiamo ora che un fabbro ferraio ponga sulla incudine del piombo, e col martello lo vada percuotendo a forti colpi. Udrete solo un colpo floscio, che non è seguito da vibrazioni simili a quelle della campana. Che avvenne dunque dell'energia della percossa? — Essa non venne trasformata, come nella campana, in vibrazioni che vanno a colpire l'orecchio. In che cosa dunque essa si mutò? Oppure avvenne qualche cambiamento in altra cosa? — Replichiamo che quell'energia si è mutata in calore. La percossa scaldò il

piombo e pose in moto tutte le sue particelle, ma in un modo diverso da quello della campana: tanto che, se il fabbro percuote a lungo il piombo, questo si fonde, cioè si riduce liquido, come se fosse stato posto su vivo fuoco.

Se alcuno di voi sfregasse con forza la palla o capocchia di vetro d'uno spillo contro un pezzo di legno, cosa accadrebbe dell'energia da lui spesa nel far questo lavoro? Io dico che essa si trasforma in calore, come si potrebbe facilmente verificare, applicando rapidamente codesta capocchia sul palmo della mano, poichè la sentirebbe calda.

Esperienza 55.ª — Per mostrarvi in altro modo come l'energia di una percossa si cangi in altra specie d'energia che chiamiamo calore, prendiamo uno di quei fosfini che s'accendono per attrito, e postolo su una pietra, percuotiamolo con un martello: il calore così svolto sarà capace di accendere il fosforo.

Ma di questo fatto potrete meglio convincervi prendendo una sottil verga di ferro, e percuotendone un estremo per alcun tempo fra martello ed incudine, poichè l'estremo stesso della verga si scalderà di tanto da diventar rovente.

E che pur lo strofinio produca calore, lo potete riconoscere in una oscura notte, guardando le vive scintille che irradiano dal freno quando è adoperato ad arrestare il moto in un convoglio ferroviario. In ognuno di questi casi l'energia attuale visibile è trasformata in quelle forme d'energia che diciamo calore; colla sola differenza che nella energia visibile il corpo si muove tutt'insieme, e tutte le sue particelle muovonsi con una medesima direzione in un dato istante, mentre nel calore le singole particelle si muovono vibrando

rapidamente, senza che il corpo nel suo insieme muti di luogo.

Ma non solo accade che l'energia visibile spesso si tramuti in calore; dobbiam pur dire che il calore può inversamente tramutarsi in energia visibile. Nel caso di una macchina a vapore, che cosa è che compie il lavoro? Non è forse il fuoco che scalda l'acqua della caldaja? Ed in questo caso è una parte della energia calorifica del carbone che si cambia di fatto in quell'energia visibile, per la quale lo stantuffo offre un moto alternativo di va e vieni, e le ruote motrici presentano un rapido movimento all'ingiro dell'asse. Ed invero tutto il lavoro fatto dalla macchina a vapore è lavoro prodotto dal calore.

Epperciò vedete che non solo possiamo cangiare una energia attuale in calore, ma altresì possiamo riconvertire il calore in energia attuale.

CORPI ELETTRIZZATI.

88. Conduttori ed isolanti. — Da più che 2000 anni or sono si conosceva che un pezzo di ambra, quand'è sfregato, acquista il potere di attirare a sè i corpi leggeri. Ed or sono circa 300 anni l'inglese dottor Gilbert dimostrava che molti altri corpi, come il solfo, la ceralacca ed il vetro hanno la stessa proprietà dell'ambra, e perciò anch'essi furon detti corpi *elettrici*, o piuttosto elettrizzabili, in quanto che l'ambra era chiamata *electron* dai greci antichi.

Queste scarse ed insignificanti nozioni valsero in questi nostri tempi a darci quel complesso di cogni-

zioni così vasto e meraviglioso, per cui siam capaci di mandare messaggi fra l' Europa e l' America in meno di un minuto secondo di tempo, e di operare tant' altre prodigiose cose.

Esperienza 56.ª — Eccovi un bastoncino formato con due verghette, una di vetro e l' altra di metallo, congiunte tra loro per un capo. Tenendo colla mano la verghetta di metallo, sfreghiamo quella di vetro con un pezzo di seta, avendo cura che la seta ed il vetro siano caldi e ben secchi. Il vetro così sfregato avrà ora il potere di trarre a sè minuzzoli di carta, o piccole palline di midollo di sambuco; però solo in quei luoghi, dove esso è stato sfregato. Il vetro, collo strofinio, ha infatti acquistato una nuova proprietà, ma questa proprietà non può distendersi sovra la sua superficie. Ciò basti pel vetro.

Supponiamo ora di tenere invece colla mano la verghetta di vetro e di strofinare colla seta l'unita verghetta di metallo, essendo ancora ben secchi il vetro e la seta. Troveremo che il metallo spiega così lo stesso potere del vetro, cioè può attrarre i corpi leggeri, come la carta ed il sovero: colla differenza però che qui tutte le parti della superficie del metallo esercitano codesto potere elettrico e non soltanto le parti state sfregate. Pertanto l'energia elettrica può distendersi sulla superficie del metallo, mentre nol fa su quella del vetro.

Questa differenza si può rendere più manifesta se, dopo aver sfregato il vetro, impugnando il metallo, si tocca con un dito dell'altra mano la parte estrema della verghetta di vetro: questa non lascierà di attirare i corpicciuoli leggieri nelle altre sue parti sfregate. Se invece, tenendo a mano il vetro, si sfrega colla seta il

metallo, e si tocca poi questo parimenti col dito, tutta quanta la verghetta metallica avrà perduta la proprietà di trarre a sè i medesimi corpicciuoli.

Perciò il vetro è chiamato *non conduttore* dell'elettricità, mentre il metallo è detto *conduttore*. Ed infatti nè il calore, nè l'elettricità ponno facilmente diffondersi sul vetro (art. 65), ma entrambi si propagano facilmente sul metallo. Il carbone, gli acidi, i sali solubili, l'acqua ed il corpo degli animali sono pure buoni conduttori dell' elettricità, sebbene lo siano meno dei metalli: d' altra parte la gomma elastica, l'aria secca, la seta, il vetro, la cera, il solfo, l'ambra, la ceralacca sono cattivi conduttori. Quest'ultimi si chiamano anche corpi *isolanti*, oppure *coibenti*, in quanto che trattengono e non disperdono l' elettricità sussistente nei corpi da essi sostenuti o portati.

Così nella precedente esperienza, quando si strofinò la verghetta di metallo impugnando il vetro, questo operò da isolante per l'influenza elettrica provocata collo strofinio nel metallo, e lo stesso fece la seta colla quale lo si strofinava. Laddove poi, toccando col dito il metallo elettrizzato, il dito stesso e tutta la nostra persona operò da conduttore, disperdendo l'elettricità del metallo.

Perciò, se vogliamo riescire negli esperimenti sui corpi elettrizzati, è assolutamente necessario di curare che questi siano da tutte le parti circondati da corpi non conduttori dell' eletricità. È quindi di molta importanza che gli esperimenti si facciano nell'aria secca e che il corpo elettrizzato sia sostenuto da un corpo isolante come il vetro. L'aria umida, essendo un tal po' conduttrice, disperde in breve lo stato elettrico d' un corpo qualsivoglia che sia da essa involto, e lo

stesso vetro, diventando umido alla sua superficie, non serve più da isolante.

Badate però che con questo vocabolo *elettricità* intendo soltanto di qualificare quello stato particolare in cui trovansi i corpi che diciamo elettrizzati, e quindi quella particolar forma di energia che allora essi manifestano. Poichè potrebbe darsi che, al modo stesso per cui il propagarsi ed il diffondersi del calore, significano solo la propagazione del movimento calorifico, così pure il propagarsi ed il diffondersi dell'elettricità avessero solo da significare la propagazione di uno speciale movimento elettrico.

89. DUE SPECIE DI ELETTRICITÀ. *Esperienza 57.ª* — Voglio ora provarvi che si danno due opposte azioni elettriche, o meglio due opposti stati elettrici.

Prendiamo l'apparecchio rappresentato dalla fig. 39ª. È costituito da una leggier pallina di midollo, sospesa

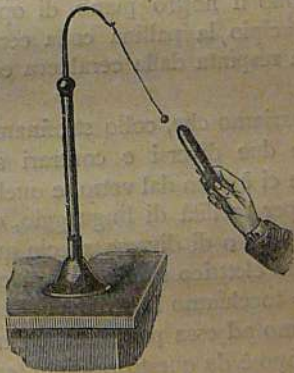



Fig. 39.

da sottil filo di seta ad un sostegno di vetro. Dapprima sfreghiamo la verghetta di vetro colla seta, e colla

verghettta così sfregata tocchiamo la pallina. Il vetro comunica a questa una parte della propria elettricità, che esso non può disperdere, poichè il filo di seta, il sostegno di vetro e l'aria secca che lo circonda sono isolanti, cioè non conduttori. Ora, prestando attenzione, vedrete che la pallina, dopo essersi ridotta a contatto del vetro, non sarà più oltre attratta da questo, ma, all'opposto, verrà dal medesimo respinta.

Prendiamo poscia un bastoncino di ceralacca e sfreghiamolo con un pezzo di flanella secca e calda, ed accostiamo la ceralacca così strofinata alla medesima pallina. Questa, che ancor sarebbe respinta dal vetro sfregato, sarà invece attratta dalla ceralacca strofinata.

Pertanto una leggier pallina isolata, toccata prima col vetro elettrizzato, sarà da questo respinta; ma sarà attirata dalla ceralacca, elettrizzata pure collo strofinio.

Se invertiremo il nostro piano di operazioni, toccando dapprincipio la pallina colla ceralacca strofinata, essa sarà respinta dalla ceralacca ed attirata dal vetro sfregato.

Da qui impariamo che, collo strofinamento, si possono produrre due diversi e contrari stati elettrici, quello cioè che ci è dato dal vetro, e quello dato dalla ceralacca. E, per facilità di linguaggio, diremo avere elettricità di eguale o di diversa specie que' corpi che trovansi in istato elettrico simile oppure contrario.

Ora, quando tocchiamo la pallina col vetro strofinato, comunichiamo ad essa parte dell' elettricità del vetro, e poichè dopo è da questo respinta, concluderemo che *due corpi aventi la stessa specie di elettricità si respingono l'un l'altro.* D' altra parte la pallina toccata col vetro elettrizzato, essendo attratta dalla ceralacca

elettrizzata, e toccata da questa essendo attratta dal vetro, dovrem concludere che *due corpi aventi diversa specie di elettricità si attraggono l'un l'altro.*

E la pallina, sostenuta e preparata, come abbiam detto sopra, chiamasi *elettroscopio a pallina,* in quanto serve a farci riconoscere se un corpo sia o no elettrizzato, e nel primo caso quale specie di elettricità esso manifesti.

90. LE DUE OPPOSTE ELETTRICITÀ SI PRODUCONO SEMPRE INSIEME NELL'ELETTRIZZARSI DE' CORPI. *Esperienza 58.ª* — Quando strofiniamo il vetro colla seta, sì l'uno che l'altra risultano elettrizzati; ma l'uno in istato elettrico opposto dell'altra. Talchè, separando questi due corpi, e presentandoli successivamente alla pallina (alla quale siasi già comunicata una data elettricità) troveremo che, se il vetro la respinge, la seta la attirerà; e viceversa, se il primo la attrae, l'altra la respingerà.

Similmente, allorchè sfreghiamo la ceralacca colla flanella si producono insieme le due elettricità: fuorchè la flanella, essendo conduttrice, per riconoscere se e come siasi elettrizzata, bisogna tenerla con un corpo isolante. In tal caso, se dopo lo strofinio la si stacca dalla ceralacca e la si presenta alla pallina già elettrizzata, la flanella eserciterà su questa un'azione opposta a quella esercitata sulla pallina medesima dalla ceralacca.

La stessa cosa succede in tutti i casi in cui producesi elettricità coll'attrito tra due corpi; mai *non si può produrre una elettricità, senza che producasi nello stesso tempo anche l'altra elettricità.*

Per distinguere queste due elettricità si è convenuto di chiamare *positiva* quella che si manifesta nel vetro

sfregandolo colla seta, e di chiamar *negativa* l'altra che apparisce nella ceralacça strofinata colla flanella. Anzi, questi due vocaboli sono preferiti per designare facilmente piuttosto l'una che l'altra specie di elettricità, ed insieme per indicare che le due elettricità, essendo contrarie tra loro, si elidono scambievolmente o si neutralizzano nelle loro influenze sui corpi esterni quando agiscono insieme; del pari che accade sommando insieme due numeri eguali, aventi però l'uno il segno negativo e l'altro positivo.

Per ciò i corpi non elettrizzati, sono anche detti in *istato neutro*, supponendosi che in essi sussistano entrambe le elettricità, ma in tal misura da neutralizzarsi scambievolmente; laddove, collo strofinio di due corpi fra loro diversi, si romperebbe l'equilibrio fra queste due energie elettriche, e quindi, separandoli, si troverebbe nell'un corpo prevalente, ad esempio, l'elettricità negativa, e nell'altro, l'elettricità positiva.

91. Azione dei corpi elettrizzati su quelli che nol sono. — Abbiam detto che le elettricità della stessa specie si respingono, mentre le elettricità di specie opposta si attirano l'una l'altra. Ora dobbiam vedere quale azione si eserciti da un corpo elettrizzato su altro corpo che nol sia.

Sia *A* (fig. 40.[a]) una grossa palla cava di ottone, la quale comunica col tubo a sinistra, pure di ottone, e portato da un sostegno di vetro, che fa da isolante. D'altra parte *B* e *C* sieno due mezzi cilindri, parimenti di ottone, che possono separarsi tra loro nel mezzo, in corrispondenza alla linea che vedete nella figura; ed ambidue sieno sostenuti da aste isolanti di vetro.

Esperienza 59.[a] — Supponiamo ora che *A* abbia ricevuta una carica di elettricità positiva, e che *B* e *C*

non sieno stati prima elettrizzati, che è quanto dire siano in istato neutro. Allora, accostando uniti *B* e *C* ad *A*, nel modo indicato dalla figura stessa, l'elettricità

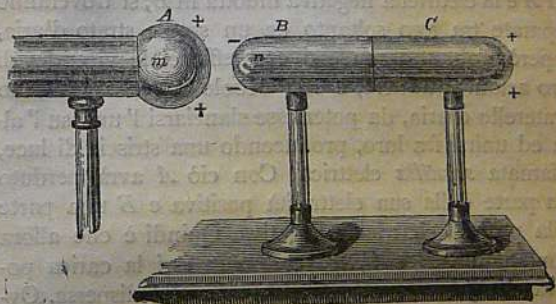



Fig. 40.

positiva di *A* agisce sulle due elettricità di *B* e *C*, traendo la negativa nella parte *B* più vicina ad *A*, e spingendo la positiva nella parte *C* più lontana, come vedete nella figura. Ed infatti, se stacchiamo *C* da *B* e poi portiam *B* lungi da *A*, troveremo, coll'elettroscopio già preparato, che *B* si mostra elettrizzato negativamente e *C* positivamente; cioè abbiam così in questi corpi provocanti insieme le due elettricità, quantunque *A* sia rimasto elettrizzato come prima.

Ed ecco che, per opera della elettricità esistente in *A*, abbiamo separate tra loro le due elettricità che erano in *B* e *C*. Anzi *A* è in grado di rinnovare ancora una simile azione su *B* e *C*, qualora ve li accostassimo di nuovo. Codesta azione od influenza esercitata a distanza da *A* su *B C*, chiamasi *induzione elettrica*.

92. Scintilla elettrica. *Esperienza 60.ª* — Ripetiamo ora il precedente esperimento, ma in un modo

un po' diverso. Spingiamo lentamente *B* e *C* verso *A*, e seguitiamo così ad accostarli ad *A*. Quando *A* e *B* saranno vicinissimi, la elettricità positiva comunicata ad *A* e la elettricità negativa indotta in *B*, si troveranno separate tra loro soltanto da un sottile strato d'aria, epperò potranno rendersi così efficaci le vicendevoli loro azioni attrattive, e così debole la resistenza dello straterello d'aria, da poter esse slanciarsi l'una su l'altra ed unirsi fra loro, producendo una striscia di luce, chiamata *scintilla* elettrica. Con ciò *A* avrà perduto una parte della sua elettricità positiva e *B* una parte della propria elettricità negativa. Quindi è che allora allontanando *B* e *C*, troveremo in essi la carica positiva che prima era in *C* e che non si è dispersa. Ovvero potrem dire, che avendo *A* perduto parte della sua elettricità positiva, *B C* ne avrà guadagnata appunto altrettanto, ed il risultato sarà lo stesso come se una parte della elettricità positiva di *A* fosse passata in *C*.

93. Diversi esperimenti. — Ciò che abbiam detto poc'anzi sulla induzione elettrica, può illustrarsi facilmente con alcuni facili e chiari esperimenti. Bisogna però sempre ricordarsi che in tutte queste esperienze il vetro degli apparecchi dev'essere ben asciutto e caldo, e l'aria circostante ben secca.

Fig. 41.

Esperienza 61.[a] — Vedete nella fig. 41[a] uno stromento che, servendo anch'esso a scoprire l'elettricità, è chiamato *elettroscopio a foglie d'oro*. Per metterlo in azione, co-

munico prima alla palla superiore (vedi le *Istruzioni*) una debole carica di elettricità positiva. Ora questa carica si diffonde alle fogliette d'oro che sono congiunte colla palla mediante un corpo conduttore, e perciò le due foglie, essendo elettrizzate similmente, si respingeranno tra loro, come vedete nella figura precedente. Ora l'elettroscopio è in azione.

Esperienza 62.ª — Avvicinando alla palla dell'elettroscopio, già carico di elettricità positiva, un bastoncino di ceralacca strofinato colla lana, vedremo che le fogliette d'oro dianzi divergenti, si avvicinano alcun po' tra loro. La cagione del fatto è questa: la elettricità negativa della ceralacca, operando per induzione su le parti conduttrici dell'elettroscopio, ne separa le due elettricità; trae la positiva presso di sè, cioè nella palla, e spinge la negativa nella parte più lontana, cioè nelle foglie. Ma, siccome queste erano prima elettrizzate positivamente, una parte della loro carica viene annullata dalla elettricità negativa in esse indotta, e perciò diminuisce la loro divergenza.

Esperienza 63.ª — Avendo ancora caricato l'elettroscopio di elettricità positiva, se accostiamo alla palla di esso un bastone di vetro strofinato, le fogliette divergeranno ancor più. Ciò proviene da che l'elettricità positiva del vetro agisce per induzione su le due elettricità dell'elettroscopio, chiamando la negativa verso di sè e respingendo la positiva nelle fogliette; epperò queste che erano già cariche d'elettricità positiva, divergeranno più fortemente per codesta aggiunta di altra elettricità d'eguale specie.

Esperienza 64.ª — Abbiasi ora una palla cava d'ottone o di altro corpo conduttore, sorretta da un'asta di vetro isolante. Se noi rechiamo questo conduttore vicino

alla macchina elettrica in azione (vedi art. 92), scoccherà fra essi una scintilla, ma piuttosto debole. Se poi tocchiamo col dito la parte del conduttore che è più lontana dalla macchina, la scintilla che scoccherà fra la palla e la macchina sarà ora molto più vivace.

Questa esperienza rischiara quant'abbiam detto nell'art. 92 sulla causa della scintilla. Infatti l'elettricità positiva della macchina trae verso di sè la negativa della palla e spinge la positiva più lungi che può. Quindi, se la palla sarà isolata, la positiva non può andar molto lungi e le due elettricità non riescono abbastanza separate, ed in conseguenza abbiamo una scintilla debole. Ma, quando tocchiamo col dito o con altro conduttore la palla stessa, l'elettricità positiva di essa è respinta attraverso il nostro corpo fino al suolo, e le due elettricità risultando bene separate, abbiamo una forte scintilla per la neutralizzazione delle due contrarie elettricità attraverso l'aria, che separa il conduttore della macchina dalla palla.

94. Azione delle punte. — Se nell'ultima esperienza continuiamo a toccare la palla metallica, intanto che si continua a far operare la macchina elettrica, una serie di scintille si scaricherà attraverso il corpo nostro, e ci potrà cagionare una spiacevole sensazione. La scintilla data dalla macchina elettrica può essere paragonata ad un piccolo scoppio di fulmine, e può dirsi che un lampo sia una lunga scintilla elettrica. Ora, appunto come una persona colpita dal fulmine è attraversata dalle elettricità che si scaricano fra una nube e la terra, così anche quando tocchiamo la palla nell'ultimo esperimento, le due elettricità si scaricano attraverso il nostro corpo.

Esperienza 65.ª — Applichiamo uno spillo metallico

od una punta alla palla predetta, ed accostiamola alla macchina, mantenendo il contatto del dito colla palla medesima. Così operando, non si avranno dalla macchina vere scintille; e si udrà invece un sibilo corrispondente ad una serie rapidissima ed apparentemente continua di scariche elettriche. Poichè un corpo acuminato, disperdendo facilmente l'elettricità mano mano che è prodotta, questa non può crescere al punto da dare una forte scarica, cioè una scintilla.

L'ufficio e l'utilità dei conduttori metallici acuminati, posti su gli alti fabbricati, si manifestano col proteggerli dalle scariche fulminee. Questi conduttori acuti, che scendono giù entro terra, servono a facilitare la neutralizzazione delle due opposte elettricità, quella propria della nube e quella da essa indotta nel suolo, talchè si ha una scarica lunga e silenziosa appunto come nella precedente esperienza 65ª. Come la punta proteggeva in quest'esperienza il dito dalle scintille, così il conduttore, chiamato *parafulmine,* protegge un fabbricato dalla scarica fulminea.

Franklin, filosofo americano, fu il primo a trovare che il lampo e l'elettricità sono la stessa cosa, e che differiscono soltanto in ciò, che un lampo fulmineo tiene spesso una lunghezza di parecchi chilometri, mentre una scintilla elettrica ha una lunghezza di parecchi centimetri.

95. Macchina elettrica. — Siamo ora in grado di spiegare la costruzione d'una macchina elettrica. Essa è costituita da due parti. La prima di queste serve a produrre l'elettricità per opera dello strofinio, e l'altra serve a raccoglierla.

Una delle macchine elettriche più usitate è quella nella quale l'elettricità è prodotta da un largo disco

di vetro, come nella figura 42ª. Questo disco, nel mentre gira, viene sfregato da due paia di cuscinetti, fra

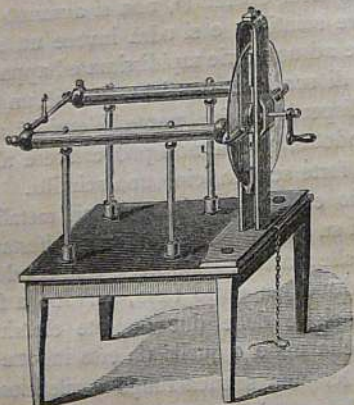



Fig. 42.

mezzo ai quali esso passa. Questi cuscini sono comunemente fatti di pelle, imbottita di crine, che permette di comprimerli per bene contro il vetro: sono però spalmati di un metallo molle, disteso su la loro superficie, e comunemente formato con una parte di zinco, una di stagno e due di mercurio, miste insieme. Una catena metallica fa comunicare questi cuscini tra di loro e colla terra. Facendo ruotare il disco, avremo, come nell'art. 90, due corpi di diversa natura che si strofinano fra loro, il vetro ed il metallo; quindi le loro elettricità si separano, la positiva si aduna nel vetro e la negativa nel metallo applicato ai cuscini. Però, i cuscini essendo in comunicazione col suolo, questa elettricità va disperdendosi, cioè diffondendosi nella terra. Rimarrà la elettricità positiva nel vetro, il quale non è conduttore.

Ma, d'altra parte, il disco di vetro è abbracciato da due aste metalliche piegate a forma di U, le quali sono congiunte ad una estesa superficie metallica, che costituisce il *conduttore*, come vedete nella figura. Ed il conduttore essendo sorretto da bastoni di vetro che fanno da isolante, può conservare la propria elettricità. Però le sue braccia ad U che circondano il disco sono munite verso l'interno di punte metalliche. Poc' anzi vedeste che le punte hanno la proprietà di dissipare la elettricità: accade quindi che le punte stesse attraggano o raccolgano l'elettricità positiva del vetro e la trasportino al conduttore, dove essa è conservata grazie ai sostegni isolanti. Laonde, ruotando il disco per alcun tempo, potremo accumulare nel conduttore una gran quantità di elettricità.

Esperienza 66.ª — Quando il conduttore della macchina elettrica è caricato, accostando ad esso un dito, scocca una scintilla fra il conduttore ed il dito. Ciò ancora proviene da che l'elettricità positiva del conduttore, per induzione, provoca un disturbo nelle due elettricità proprie del mio dito ed insieme del mio corpo, cosicchè le parti ad essa più vicine manifestano l'elettricità opposta, cioè la negativa, e le parti più lontane la elettricità d'egual natura, cioè la positiva (art. 91). Allora le due elettricità contrarie e vicine, cioè la positiva del conduttore e la negativa della mano, attirandosi scambievolmente ed unendosi fra di loro, costituiscono la scintilla.

96. Bottiglia di Leyden. *Esperienza 67.ª* — Quando avvicinate il dito od un nodo di esso alla macchina elettrica, voi sentite una sensazione come di pizzicore nell'atto in cui scocca la scintilla; ma non ne risentite una vera scossa.

Per produrre una scossa, potete usare una boccia di Leyden, quale la vedete nella figura 43ª. Essa è una boccia di vetro, le cui pareti sono coperte da stagnola, almeno sin poco al disotto della sua apertura. Un'asta di ottone, munita di palla all'estremo superiore, si congiunge inferiormente colla copertura od *armatura* interna, ed è sorretta da un tappo isolante che chiude l'apertura della boccia. Così questa è munita di due armature, l'una interna e l'altra esterna, le quali sono separate tra loro da un tramezzo di vetro che non conduce l'elettricità.

Fig. 43.

Prendo ora la boccia, applicando una mano all'armatura esterna, e tocco il conduttore di una macchina elettrica in azione colla palla che comunica coll'armatura interna. L'elettricità positiva del conduttore passerà nell'armatura interna e quivi, operando per induzione, separerà le due elettricità dell'armatura esterna, cioè attirerà l'elettricità negativa di essa, e ne respingerà la positiva, per mezzo della mano e della persona, nella terra. Ora abbiam qui, l'una di contro all'altra, due forti cariche opposte di elettricità positiva nell'armatura interna e di negativa nella esterna, le quali non possono raggiungersi, non potendo superare la resistenza del vetro. Perciò, rimanendo ciascuna al proprio luogo, potrò comunicare una nuova quantità di elettricità positiva all'armatura interna. Questa seconda carica agirà allo stesso modo della prima, separando ulteriormente le due elettricità dell'armatura esterna,

respingendo da essa verso la terra la elettricità positiva, mentre la negativa sarà trattenuta nella armatura esterna per l'induzione della nuova carica positiva comunicata all'interno. Avremo così raddoppiata la carica interna e raddoppiata l'esterna, ed ambedue tenderanno a congiungersi tra loro, impedite però sempre dalla coibenza del vetro. E così via, continuando questo processo, potremo accumulare, sulle due armature della boccia, quantità assai grandi delle due opposte elettricità.

Per iscaricare questa boccia si fa uso di un arco metallico, pieghevole a snodo, i cui rami ponno variamente accostarsi per mezzo di due manichi isolanti di vetro, come vedete nella figura 44ª. Quest'ordigno è chiamato *eccitatore*. Ora, toccando con una delle palle terminali dell'arco una delle armature della boccia, ed avvicinando poi gradatamente l'altra palla all'altra armatura, quando la distanza fra esse sarà piccola, si vedrà scoccare una forte scintilla, accompagnata da rumore, e con ciò la boccia dicesi scarica. Qualora poi vogliam sentire la scossa, basta afferrare con una mano l'armatura esterna ed avvicinare l'altra mano alla palla dell'armatura interna: allora la scarica ha luogo attraverso il nostro corpo. Che se più persone vogliono risentire codesta scossa, devono congiungersi successivamente colle lor mani, a forma di catena, e la persona che sta ad un estremo di questa catena tocca una delle armature, mentre l'altra persona estrema porta la sua mano libera a toccar l'altra. La scarica acca-

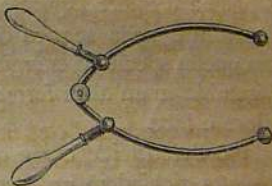



Fig. 44.

dendo attraverso il corpo di tutti, tutti risentiranno una commozione.

97. Energia nei corpi elettrizzati. — Per quanto vi dissi testè, comprenderete che l'elettricità è qualche cosa che rappresenta un'energia. Vedete le due opposte elettricità della boccia che si sforzano per unirsi insieme, e la loro unione è accompagnata da un lampo e da un rumore. Questo lampo è veramente luminoso nell'atto in cui si produce: e sebbene non duri più che una ventiquattromillesima parte di un minuto secondo, importa però una notevole quantità di calore. E poichè il calore rappresenta una energia, vedendolo intervenire nella scarica della boccia, diremo che allora quella specie di energia, che chiamiamo elettricità, si cambia in un'altra forma di energia, che chiamiamo calore e luce.

Però l'elettricità, come ogni altra energia, per essere prodotta richiederà un lavoro. E appunto per mantenere in azione la macchina elettrica, cioè per continuare a produrre elettricità, convien esercitare uno sforzo sensibile per mantenerla in moto.

Vedete dunque che *nulla si crea col nulla*; se volete ottenere un qualsiasi agente efficace, dovete produrre un lavoro ad esso corrispondente. D'altra parte, quando le due elettricità si uniscono, non vi è scomparsa di energia, ma accade soltanto un cambiamento, dalla forma di elettricità a quella di calore.

98. Corrente elettrica. — Vedemmo sopra (articolo 94) che, accostando un conduttore acuminato alla macchina elettrica in azione, si produce una specie di scarica continua, non luminosa e silenziosa, tra la macchina ed il suolo. Ma vedemmo altresì che questa scarica continua consiste propriamente nella riunione

che pur continuamente si effettua tra la elettricità positiva della macchina e la negativa data dal suolo per induzione. Una scarica così fatta, o meglio codesta serie rapidissima di scariche, chiamasi *corrente elettrica*, in quanto, per brevità di discorso, si suppone un semplice trascorrimento di elettricità dal corpo elettrizzato positivamente all'altro che è elettrizzato negativamente.

Però abbiamo altri mezzi, oltre quello di una macchina elettrica per ottenere energiche correnti elettriche. Descriverò brevemente l' apparecchio che fu inventato dal Volta, e che perciò fu chiamato *batteria voltaica*. La figura 45ª mostra codesta disposizione di cose.

Nel vaso di vetro a sinistra vedete una lastra segnata *C*, che indica una lastra di rame; di contro ad

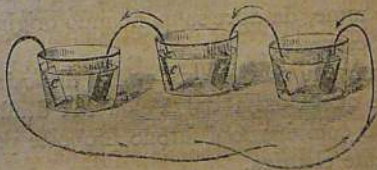



Fig. 45.

essa v'è una lastra di zinco segnata *Z*, la quale da filo metallico è congiunta con altra lastra di rame, posta in un secondo vaso. In questo evvi altra lastra di zinco che è similmente collegata col rame del terzo vaso. Infine all'estremo destro vedete una lastra di zinco. I vasi sono pressocchè pieni di una soluzione di acido solforico nell'acqua. Due fili di rame applicati alle due lastre estreme, a quella di zinco da una banda ed a quella di rame dall'altra, servono a chiudere il circuito della batteria e ad applicare la cor-

rente ed altri corpi. Perciò questi fili si dicono *reofori* (che significano portatori della corrente), e le loro estremità son dette *poli* (punti estremi) della batteria.

Quando si congiungono tra loro questi reofori, come nella figura, si hanno due correnti, l' una positiva, che cammina nel senso delle freccie, l'altra negativa, che cammina in senso opposto, le quali si neutralizzano tra loro. Però comunemente si considera solo la positiva: essa procede dal reoforo unito alla lastra di rame di sinistra, e va lunghesso i reofori alla lastra di zinco dell'estremo destro; da questa procede successivamente da una ad altra lastra metallica, attraverso al liquido che in ciascun vaso separa la lastra di rame da quella di zinco, ed ai fili metallici che congiungono le lastre di due vasi successivi, sino a compiere il circuito coll'estremo rame, da dove supponemmo originariamente partita la corrente.

99. Batteria di Grove. — La disposizione testè descritta è quella usata dal Volta. Ma d'allora in poi molte altre combinazioni furono proposte per ottenere una corrente elettrica.

Erasi osservato che nella disposizione del Volta la corrente, benchè forte dapprincipio, diventava ben presto debole, e s'immaginò un metodo col quale la corrente può mantenersi a lungo con una forza quasi costante. Una batteria che raggiunga questo intento è chiamata batteria *costante*, ed una delle migliori tra queste è quella inventata da Grove, che può vedersi innanzi nella figura 48ª.

In questa batteria, invece di un semplice vaso, se ne adoperano due, l'uno entro l'altro; l'esterno in vetro od in terraglia, e l'interno in terra cotta porosa. Il vaso esterno è in parte empito di acido solforico di-

luito; entro di esso sta una lastra di zinco amalgamata alla superficie e piegata come vedete nella figura. Entro questo liquido sta il vaso poroso contenente acido nitrico concentrato, nella quale sta immersa una lastrina di platino, che tien luogo del rame della combinazióne voltiana.

Quando questa batteria è in azione, lo zinco si scioglie nell'acido solforico diluito, ed intanto il gas idrogeno vien lasciato libero. Ma questo idrogeno non si sperde in forme di bolle, ma trova la sua via attraverso il vaso poroso contenente l'acido nitrico, ed ivi decompone quest'acido appropriandosi una parte del suo ossigeno, così da formare acqua (come sapete dai *Principii di Chimica*, l'acqua è formata da idrogeno e da ossigeno); epperò trasforma l'acido nitrico in acido iponitrico, il quale manifesta la sua presenza con un fumo di colore aranciato. Per tal modo l'idrogeno non giunge alla lastra di platino; ed invero l'anzidetta combinazione ebbe appunto per intento d'impedire che ciò accadesse mentre nell'originaria batteria del Volta l'idrogeno prodotto dal disciogliersi dello zinco aderiva alla lastra di rame, e svigoriva di molto la forza della batteria.

Abbiam qui descritto della batteria di Grove soltanto una *coppia*, com'essa vien chiamata. Una forte batteria di questa specie può essere costituita da 50 od anchè da 100 coppie, nelle quali il filo unito al platino di una coppia si congiunge collo zinco dell'altra, in un modo affatto simile a quello della figura 45ª, con solo questa differenza che in luogo del rame v'è qui il platino, ed in luogo d'un vaso semplice un vaso doppio, come quello testè descritto. Quindi, in questa combinazione del Grove, la corrente positiva

passa attraverso il liquido, diretta dallo zinco al platino, appunto come nella combinazione del Volta essa attraversa il liquido procedendo dallo zinco al rame.

100. Proprietà della corrente elettrica. — Vediamo ora che cosa possa fare una corrente elettrica, ossia disponiamo alcune semplice esperienze.

Esperienza 68.ª — Abbiasi una batteria di Grove preparata per agire: introduciamo fra i poli di essa un pezzo di filo di platino molto sottile. Tostochè la congiunzione sarà fatta, il filo di platino si scalderà di tanto da diventar rovente.

Esperienza 69.ª — Prendiamo ancora una batteria di Grove, facciamo per modo che i suoi poli giungano

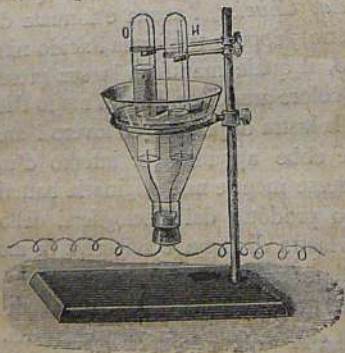



Fig. 46.

in due provette capovolte e contenenti acqua, come nella figura 46ª. Tosto si scorge che la corrente decompone l'acqua e che l'ossigeno si raccoglie in una delle provette e l'idrogeno nell'altra. L'ossigeno si svolge al polo che è congiunto col platino, mentre l'idrogeno si raccoglie al polo congiunto collo zinco. Con ciò ve-

dete che una batteria voltaica ha il potere di scomporre l'acqua, e similmente essa può scomporre molti altri composti liquidi.

Esperienza 70.ª — Abbiam qui un lungo filo di rame ricoperto da filo isolante, ed avvolgiamolo intorno ad una grossa verga di ferro dolce piegata ad U, o, come suol dirsi, a ferro di cavallo; indi congiungiamo i due capi del filo di rame coi poli della batteria. Se questa è attiva, troveremo che il ferro acquistò il potere di attirare a sè altro ferro, qual sarebbe una lastra posta al disotto, come nella figura 47, e sorreggente un forte peso. Nondimeno, tosto che si romperà la connessione tra il ferro di cavallo e la batteria, questa facoltà cesserà, e la lastra di ferro portante il peso si staccherà come dianzi.

Fig. 47.

Esperienza 71.ª — Prendiamo una verghetta di acciajo temperato, qual'è un ago da cucire, e posiamolo pel traverso sulla spirale avvolta al ferro dell'ultima esperienza, nel mentre passa la corrente. Questo ago avrà acquistato alcune proprietà, le quali esso non perderà, come fa il ferro dolce, col cessare della corrente, ma le conserverà. Per esempio, sospendendo quest'ago pel suo centro con un sottil filo di seta e lasciandolo oscillare orizzontalmente finchè esso si fissi in una certa direzione, questa direzione corrisponderà prossimamente a quella da nord a sud. Insomma questo ago farà come l'ago di una bussola, tendendo sempre ad assumere una data direzione, ed abilitando quindi il nocchiero, quando viaggia sul mare, a ben

dirigere la sna nave. Un pezzo d'acciajo temperato che possiede questa proprietà, è chiamato un *magnete* od una calamita.

Esperienza 72.ª — Su di un perno verticale sospendiamo orizzontalmente un ago magnetico: esso, coi propri estremi, guarderà prossimamente a nord ed a sud. Ma se distendiamo vicino e parallelamente ad esso un filo conduttore pel quale passi una corrente, troveremo che l'ago non guarderà più, come dianzi, ai poli terrestri, ma si disporrà obbliquamente e quasi ad angolo retto col filo che traduce la corrente. Se poi interrompiamo la corrente, l'ago ripiglierà tosto la sua abituale direzione.

Esperienza 73.ª — Possiamo rendere più significativa l'ultima esperienza colla disposizione mostrata dalla figura 48. Supponiamo che la nostra batteria sia posta ad un capo della stanza, e che i due fili conduttori e

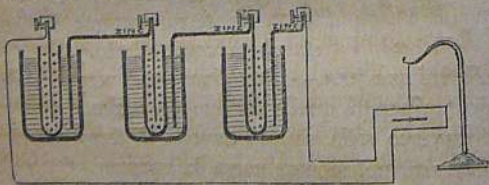



Fig. 48.

superficialmente isolati trasportino i due poli della batteria all'altro capo della camera, e siano insieme congiunti, cosicchè la batteria diventi operativa. Inoltre nel punto più remoto della batteria vi è un ago magnetico, sospeso in prossimità del filo; esso vien bruscamente deviato quando passa la corrente. Ora se taluno, all'opposto lato della camera, staccasse il filo da uno dei poli della batteria, nello stesso istante cesserebbe

la corrente, e l'ago magnetico ritornerebbe alla consueta sua posizione.

101. Telegrafo elettrico. — Come or dissi, interrompendo il filo conduttore della batteria ad un estremo d'una sala, l'ago situato all'opposto estremo si muove appunto nello stesso momento. Questo movimento si produrrebbe egualmente quand'anche il filo congiungente i poli si spingesse ad una distanza di 100 e di 1000 chilometri. Se l'ago magnetico fosse posto vicino al filo che porta la corrente, sebbene esso si trovasse lungi mille chilometri dalla batteria, sarebbe pure deviato tostochè all'altro estremo del filo, cioè a mille chilometri di distanza, si staccasse un polo della batteria facendo cessare la corrente, e l'ago magnetico tornerebbe tosto alla sua ordinaria posizione. *Vedete dunque che, producendo e togliendo il contatto di un filo con un polo della batteria, possiamo muovere, ed in opposti sensi, un ago magnetico a mille chilometri di distanza.*

È questo appunto il principio del *telegrafo elettrico*, il quale produce tali meraviglie in fatto di trasmissione di notizie, che noi possiamo significare il nostro pensiero, a chi si trovi nella lontana America, pochi secondi dopo averlo concepito. Io non posso qui entrare in maggiori particolari su questo argomento: tuttavia voi comprenderete che col far agitare variamente un ago magnetico a mille chilometri di distanza, si possono produrre diversi segnali che convenzionalmente ponno corrispondere ad un particolare alfabeto, e col mezzo del quale si possono significare le diverse idee.

102. Conclusione. — Avete così brevemente imparato che cosa possa fare una corrente elettrica. In primo luogo essa può scaldare fortemente un filo sottile dalla medesima percorso; in secondo luogo può

decomporre l'acqua ed altri corpi; in terzo luogo può trasformare un pezzo di ferro dolce in una potente calamita temporaria; in quarto luogo può produrre una calamita permanente con una verga d'acciajo, ed infine può deviare l'ago di una bussola rendendo possibile il comunicare a grandi distanze ed in brevissimo tempo i propri pensieri.

103. Deduzioni. — Non posso più a lungo distendermi su questi interessanti argomenti, ma spero tuttavia che voi avrete appreso qualche cosa sui modi di operare della materia. Parlammo dapprima dei corpi in moto, poi dei corpi vibranti, indi dei corpi caldi e finalmente dei corpi elettrizzati, ed abbiamo procurato di mostrare che l'attività posseduta da un corpo non può mai andare perduta. Essa può bensì trasmettersi da uno ad altro corpo, può cambiare la sua forma, convertendo l'energia visibile ora in suono, ora in calore, ora in elettricità, e trasformarsi in diversi modi: ma in realtà nessuna parte di questa attività può annientarsi, come non può annientarsi qualsiasi particella di materia.

Imperocchè, come la scienza della chimica è basata sul principio che la materia cambia solamente di forma passando da una ad altra combinazione e non può in niun modo annientarsi, così la scienza della fisica è fondata sul principio che l'attività o l'energia cambia soltanto di forma, senza mai potersi annientare. Però il pieno sviluppo di questo principio è riservato ad un più alto stadio dell'istruzione scientifica.

COSE DA RICORDARE.

L'unità delle misure lineari è chiamata *metro*, e corrisponde prossimamente alla quarantamilionesima parte del meridiano medio terrestre. Per le distanze da luogo a luogo, si usa il *chilometro* che equivale a mille metri.

Per unità di misura delle grandezze e dei volumi si prende il *metro cubo:* ma per unità di misura del volume dei liquidi e dei fluidi aeriformi si prende il *litro*, che è una capacità corrispondente ad un decimetro cubo.

Per unità di misura del peso dei corpi si è preso il *chilogramma*, cioè il peso reale di un litro d'acqua pura a 4°. La millesima parte di questo peso, dicesi *gramma*.

Un corpo, lasciato cadere liberamente, per la forza di gravità percorre, nel primo minuto secondo di tempo da che incominciò a muoversi, circa metri 4,9, e guadagna poi, ad ogni minuto secondo, metri 9,8 nella sua velocità.

L'acciajo è il metallo più resistente, l'oro il più malleabile. Il diamante è il solido più duro, cosicchè intacca ogni altro corpo.

Un litro d'aria ben secca ed a 0°, pesa grammi 1,293.
Un litro di gas acido carbonico, pesa grammi 1,977.
Un litro di gas idrogeno pesa soltanto gr. 0,0896.

La pressione esercitata, per medio d'un anno, a livello del mare, dall'aria atmosferica, vale a reggere una colonna di mercurio a 0° alta metri 0,76, ovvero una colonna d'açqua a 4° alta metri 10,33.

Il suono percorre nell'aria a 0°, uno spazio di metri 332,5, ossia si muove con una velocità di circa un terzo di chilometro.

Quando uno strumento musicale vibra 50 volte in un secondo, esso emette una nota molto profonda o bassa; se vibra 10 mila volte in un secondo, emette una nota acuta od alta di molto.

Dicesi *caloria* la quantità di calore necessaria a scaldare di 1° un chilogrammo d'acqua. Questa quantità vien presa per unità di misura delle varie quantità di calore volute a produrre dati effetti.

Per fondere o liquefare un chilogrammo di ghiaccio a 0° richiedonsi 79 calorie, e per trasformare in vapore un çhilogrammo d'acqua a 100°, voglionsi 537 calorie.

La luce attraversa gli spazi celesti con una velocità di circa 310 chilometri al minuto secondo.

ISTRUZIONI RELATIVE AGLI APPARATI.

Per le esperienze da eseguirsi colla macchina pneumatica, bisogna aver molta cura che lo stantuffo combaci per bene colla superficie del cilindro, collo spalmarlo di grasso suino. E similmente il labbro della campana deve combaciare perfettamente col disco piano che ne chiude l'apertura; a tale uopo lo si spalma pure di grasso, ed applicato poi tal labbro al piatto, lo si fa ruotare dolcemente, badando se mai si produce qualche scricchiolio dovuto allo schiacciarsi di alcun corpuscolo interposto, nel qual caso si dovrà ripulir bene il labro della campana ed il piatto, e rinnovare l'applicazione del grasso. — Questa avvertenza vale anche pei due emisferi della esperienza 30ª, ed in genere pei recipienti applicati alla macchina pneumatica.

Per empire d'acido carbonico la boccia accennata nell'esperienza 28ª, bisogna curare che il tubo adduttore dal gas *discenda* sin presso al fondo della boccia, senza però toccarlo. Laddove, per empire di gas idrogeno la boccia stessa, come nell'esperienza 29ª, conviene che il tubo *salga* sin presso al fondo della boccia, poichè, in questa esperienza, la boccia è disposta a rovescio, cioè col fondo rivolto in su.

Pel buon esito dell'esperienza 47ª, conviene che tutto l'apparecchio sia tenuto per alcune ore prima in una camera fredda.

Bisogna usare molta cura nel maneggiare il fosforo, il quale facilmente prende fuoco. Le verghette di fosforo si conservano sott'acqua, ed i piccoli pezzi da adoperare per l'esperienza 50ª si asciugan prima cautamente con carta bibula.

Quando il mercurio è offuscato alla superficie, si piega della carta a forma di cono, la si adatta nel cavo di un imbuto di vetro disposto nel collo d'una boccia pure di vetro e ben pulita ed asciutta. Si versa il mercurio su l'imbuto di carta, e con un sottile e lungo spillo d'acciajo si pratica un piccol foro sul fondo della carta stessa. Il mercurio, filtrando lentamente per quel forellino, si spoglia dell'ossido, il quale galleggia ed aderisce poi alla carta, ed il mercurio rimane brillante.

Bisogna pur badare che il mercurio non sia imbrattato da altri metalli, coi quali facilmente si unisce formando un'amalgama. Quindi bisogna serbare in disparte quella porzione di mercurio che vuolsi usare per amalgamare i zinchi delle pile.

Innanzi di adoperare la macchina elettrica, bisogna scaldare per bene il disco di vetro, sottoponendovi un braciere, e girando lentamente il disco così da esporre al fuoco le varie parti di esso, senza di che si arrischierebbe di veder spezzarsi il disco. Anche i sostegni isolanti di vetro del conduttore devono essere ben secchi e caldi.

A ben predisporre l'elettroscopio per le esperienze descritte all'articolo 93, bisogna comunicargli una carica piuttosto debole: altrimenti se questa è appena un po'

forte, le fogliette, divergendo, si spingerebbero a toccare le pareti della boccia e protrebbero lacerarsi. Per caricare l' elettroscopio convien dare ad una boccia di Leyden sol una piccola scintilla colla macchina elettrica, e toccar poi la palla dell' elettroscopio colla palla della boccia.

Inoltre la boccia di Leyden e tutti gli oggetti di vetro che servono ad esperienze elettriche, devono essere caldi e ben asciutti.

Lo zinco della pila di Grove deve essere ben amalgamato (vedi *Principii di Chimica*), e tutte le parti metalliche che entrano a costituire il circuito, devono essere ben pulite nei rispettivi punti il congiunzione.

I truogoli esterni di questa pila si caricano con una soluzione di una parte di acido solforico concentrato in otto di acqua.

Quando questa pila ha cessato d'agire, si risciacquano per bene i vasi porosi, e si ripuliscono le lastre di platino e di zinco.

Nell' esperienza 72ª, bisogna riempire di mercurio le due piccole capsule di rame nelle quali s' immergono le estremità dei reofori della pila.

FINE